

Hur påverkar avlövad underväxt kvaliteten och drivningskostnaden i gallring?

How does leafless undergrowth affect quality and logging costs in thinning?



Fredrik Jonsson

**Arbetsrapport 8 2015
Examensarbete 30hp A2E
Jägmästarprogrammet**

**Handledare:
Dan Bergström**

Sveriges lantbruksuniversitet
Institutionen för skogens biomaterial och teknologi
S-901 83 UMEÅ

www.slu.se/sbt

Tfn: 090-786 81 00

Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Hur påverkar avlövad underväxt kvaliteten och drivningskostnaden i gallring?

How does leafless undergrowth affect quality and logging costs in thinning?

Fredrik Jonsson

Nyckelord: Skördare, skotare, underväxtröjning, tidsstudie

Arbetsrapport 8 2015

Examensarbete i skogshushållning vid Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi, 30 hp
EX0772, A2E

Jägmästarprogrammet

Handledare: Dan Bergström, SLU, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Extern handledare: Erik Kemppainen, Norra skogsägarna

Examinator: Ola Lindroos, SLU, Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Sveriges lantbruksuniversitet

Institutionen för skogliga biomaterial och teknologi

Utgivningsort: Umeå

Utgivningsår: 2015

Rapport från Institutionen för Skogens Biomaterial och Teknologi

Förord

Denna studie har genomförts som ett examensarbete omfattande 30 högskolepoäng på avancerad nivå, vilket motsvarar 20 veckors heltidsstudier. Arbetet har utförts inom ämnet skogshushållning på Institutionen för skogens biomaterial och teknologi vid Sveriges Lantbruksuniversitet i Umeå. Arbetet genomfördes under hösten och vintern 2014/2015.

Jag vill rikta ett stort tack till mina handledare Dan Bergström (SLU) och Erik Kemppainen (Norra Skogsägarna) som ställt upp och hjälpt mig under arbetets gång med goda råd och synpunkter.

Jag vill även tacka de studerade maskinförarna och röjaren som tog sig tid att ställa upp under studien och visade på ett stort tålamod. Ytterligare tack riktas till Mattias Hellgren och Nils Broman som föreslog lämpliga bestånd till studien, Kristian Strömberg som hjälpte till att svara på frågor om kostnader samt min sambo Frida Hallgren som tagit sig tid att läsa genom rapporten och kontrollerat det skriftliga språket.

Umeå i februari

Fredrik Jonsson

Sammanfattning

Gallring är en beståndsvårdande utglesning där gagnvirke tillvaratas. Syftet med gallring är att styra över produktionen på ett lägre antal stammar och på sikt skapa ett bestånd med en högre medelstamsvolym än om gallring inte genomförts. Gallring kan utföras enligt olika former, vilket påverkar produktiviteten i drivningsarbetet och beståndets karaktär efter utförd åtgärd. I vissa bestånd kan det finnas ett undre skikt av löv eller gran som försvårar gallringen, så kallad försvårande underväxt.

Den här studien syftade till att undersöka om underväxtröjning är en åtgärd som kan leda till att minska kostnaderna i gallring i bestånd med underväxt. En tidsstudie utfördes i två talldominerade bestånd med lövdominerad underväxt i 2-3 meters höjd. Inom varje bestånd lades sex parceller ut, där hälften av parcellerna genom lottens hjälp valdes ut för underväxtröjning innan gallring. Skördarstudien utfördes som en frekvensstudie, vilket gav fördelningen mellan arbetsmomenten och tidsåtgången. Röjarens tidsåtgång i röjningsarbetet och skotarens tidsåtgång i lastning och förflyttning mellan uppställningsplatser tidsstuderades och resterande arbetsmoment för skotaren modellerades för att kunna beräkna produktiviteten.

Lövunderväxten hade en signifikant påverkan på skördarens produktivitet i gallring. I underväxtröjda bestånd ökade produktiviteten med 12,3 % vid en skördad medelstamsvolym på 0,06 m³fub och 8,2 % vid en skördad medelstamsvolym på 0,10 m³fub. Skördarens kostnader minskade med 8,8 kr/m³fub vid en skördad medelstam på 0,06 m³fub och 3,8 kr/m³fub vid en skördad medelstam på 0,10 m³fub. Skotarens arbete påverkades inte signifikant av underväxten varpå reduktionen i drivningskostnad motsvarade skördarens minskning.

Vid en röjningskostnad på 1300 kr/ha, vilket motsvarar en kostnad på 32,5 kr/m³fub vid ett volymsuttag på 40 m³fub/ha, blir nettot 21,3 % lägre vid en skördad medelstamsvolym på 0,06 m³fub och 34,04 % lägre vid en skördad medelstamsvolym på 0,10 m³fub om man utför en underväxtröjning.

Underväxtröjningen bedömdes därför inte vara en ekonomisk åtgärd i bestånd där gallring utfördes under perioder med avlövad underväxt.

Nyckelord: Skördare, skotare, underväxtröjning, tidsstudie

Summary

Thinning is a stand developing treatment during which merchantable wood is harvested. Thinning is done to redirect the production on a lower number of stems and in a longer term get a stand with a higher mean stem volume. Thinning can be done under different forms, which affects the productivity in felling and the character of the stand after performed treatment. In some stands undergrowth of deciduous tree species or spruce may be present which complicates the machine work in thinning.

This study aimed to investigate if undergrowth clearing is a treatment method that can be used to decrease the costs of thinning in stands with undergrowth. Time studies were performed in two pine dominated stands with deciduous undergrowth in 2-3 meters height. Within each stand 6 study units were established and half of them were undergrowth cleared before thinning. The harvester study was performed as a frequency study, which gave the distribution between work elements and time consumption. The brush-cutter's time consumption in undergrowth clearing and the forwarder's time consumption in loading and moving between loading positions were studied and the rest of the forwarder's work elements was modelled to be able to calculate the productivity.

The deciduous undergrowth had a significant impact on the harvester's productivity in thinning. In undergrowth cleared stands the productivity increased by 12.3 % at a harvested mean stem volume of 0.06 m³fub and by 8.2 % at a harvested mean stem volume of 0.10 m³fub. The harvesting costs decreased by 8.8 SEK/m³fub at a harvested mean stem volume of 0.06 m³fub and by 3.8 SEK/m³fub at a harvested mean stem volume of 0.10 m³fub. The forwarder's work was not significantly affected by undergrowth whereupon the reduction in logging costs corresponded to the harvester's decrease.

At a undergrowth clearing cost of 1300 SEK/ha, which correspond to a cost of 32.5 SEK/m³fub at a harvested volume of 40 m³fub/ha, become the net income 21.3 % less at a harvested mean stem volume of 0.06 m³fub and 34.04 % less at a harvested mean stem volume of 0.10 m³fub.

Undergrowth clearance was not estimated to be an economic method in stands where thinning was performed under conditions with leafless undergrowth.

Key words: Harvester, forwarder, undergrowth clearing, time study

Innehållsförteckning

Bakgrund	7
Gallring	7
Underväxt och underväxtröjning	7
Skador	9
Tidsstudier	10
Motivering	11
Syfte	11
Frågeställning	11
Material och metod	12
Studiedesign	12
Försöksområde	12
Försöksupplägg	16
Genomförande	17
Beräkningar och statistisk analys	18
Ekonomi	19
Resultat	22
Gallrade volymer och kvalitet	22
Stickvägsbredd och stickvägsavstånd	23
Skador	23
Effektivitet och produktivitet	24
Skördaren	24
Skotaren	25
Underväxtröjning	26
Produktivitet och kostnader för medelbestånden	26
Skördaren	26
Skotaren	26
Underväxtröjning	27
Känslighetsanalys	28
Diskussion	30
Tolkning av resultat	30
Gallrade volymer och kvalitet	30
Effektivitet och produktivitet	30
Kostnader och känslighetsanalys	31
Framtida studier	32

Styrkor och svagheter med studien.....	32
Slutsats.....	34
Referenser.....	35
Personlig kommunikation	36
Bilaga 1. Variansanalys av skördare på blocknivå.....	37
Bilaga 2. Variansanalys av skördare för parcellpar.....	38
Bilaga 3. Variansanalys av skotare på blocknivå.....	39
Bilaga 4. Variansanalys av skotare för parcellpar.....	40
Bilaga 5. Regressionsanalys av produktivitet i underväxtröjning.....	41
Bilaga 6. Sammanställning av upphandlingsuppgifter för skördare	42
Bilaga 7. Sammanställning av upphandlingsuppgifter för skotare	43
Bilaga 8. Norra Skogsägarnas instruktion för underväxtröjning.....	44
Bilaga 9. Volymfunktioner baserade på provträd	45
Volymfunktion för block 1	45
Volymfunktion för block 2	45
Bilaga 10. Höjdfunktioner för underväxt baserade på provträd.....	46
Höjdfunktion för lövunderväxt	46
Höjdfunktion för granunderväxt	46

Bakgrund

Gallring

Gallring är en beståndsvårdande utglesning där gagnvirke tillvaratas. Syftet med gallring är att styra över produktionen på ett lägre antal stammar och på sikt skapa ett bestånd med en högre medelstamsvolym än om gallring inte genomförts (Agestam 2009). Gallring kan utföras enligt olika gallringsformer som syftar till att påverka vilka träd som ska tas ut och vilka som ska lämnas. De övergripande gallringsformerna i dagens skogsbruk är låggallring, friggallring (även kallad kvalitetsgallring) och höggallring. I låggallring är fokus på att ta ut de mindre träden vilket ger en gallringskvot under 0,9. Eftersom gallringskvoten är förhållandet mellan de utgallrade och de kvarstående trädens diameter innebär det att medeldiameter och medelhöjd ökar efter åtgärden (Agestam 2009). Friggallring eller kvalitetsgallring innebär att gallringskvoten ligger mellan 0,9 och 1,1, det vill säga att medeldiameter och medelhöjd är oförändrade. Höggallring riktar in sig på förväxande och härskande träd i skogen och gallringskvoten ligger mellan 1,1 och 1,3, alltså att medeldiameter och medelhöjd minskar efter åtgärden (Håkansson 2000).

I Norra Skogsägarnas gallringsriktlinjer finns det vissa skillnader i gallringskvoterna för de olika gallringsformerna jämfört med Håkansson (2000). I Norra Skogsägarnas gallringsriktlinjer har låggallring en gallringskvot under 0,8, friggallring ligger mellan 0,8-1,0 och höggallring har en gallringskvot som är högre än 1,0 (Norra Skogsägarna 2007). Gallringskvoten definieras hos Norra Skogsägarna som de utgallrade trädens medeldiameter dividerat med de kvarstående trädens medeldiameter (Norra Skogsägarna 2007). En annan förekommande definition av gallringskvot är uttagets diameter i förhållande till diametern i beståndet innan gallring (Agestam 2009).

Underväxt och underväxtröjning

Underväxtröjning, eller förröjning, har tidigare varit en mer eller mindre allmän åtgärd inför avverkning som syftat till att röja bort de minsta och klenaste träden i en gallringsskog eller slutavverkningsskog (Håkansson 2000). Underväxten som röjs bort definieras som *"ett undre skikt i beståndet av träd som inte ger gagnvirke, diametergränsen sätts ofta till mindre än 7 cm i brösthöjd"* (Gunnarsson m.fl. 1992). En förenklad uppdelning av de olika underväxtyperna är enligt Gunnarsson m.fl. (1992) grandominerad underväxt (innefattar även underväxt med löv) och löv- och talldominerad underväxt. Dessa typer av underväxt har olika höjder där underväxten får en ökad påverkan på drivning, generellt sett anses granunderväxt få en ökad påverkan då höjden överstiger 1,3 meter och för löv- och tallunderväxt är motsvarande när höjden överstiger 3 meter (Gunnarsson m.fl. 1992).

I Brunberg m.fl. (1989) kunde man notera att underväxten främst påverkade skördarens arbete i gallring på två sätt:

- Antalet kedjeavhopp ökade, vilket ökade stilleståndstiden.
- Underväxten hindrade skördarens arbete

I studien noterades inga skillnader mellan avlövad och underväxt med löv (Brunberg m.fl. 1989).

I en gallringsstudie av Kärhä (2006) påvisades underväxtens medelhöjd och stamantal som stora produktionssänkande faktorer i skördarens arbete. I studien noterades två arbetsmoment hos skördaren där tidsåtgången ökade utifrån dessa faktorer, vilka redovisas nedan.

- Tidsåtgången för kranarbetet ökade då aggregatet hade svårigheter att nå trädens rotända, fälla samt föra stammen till området där stammen kvistades och apterades.
- Tidsåtgången för underväxtröjning med aggregatet ökade.

Kärhä (2006) påvisade kraftiga produktivetsminskningar vid ökande stamantal av granunderväxt. Vid 2000 underväxtstammar/ha och en medelhöjd på två meter sjönk produktiviten med mellan 14 % vid en medelstamsvolym 40 dm³ och 12 % vid en medelstamsvolym 150 dm³. Produktiviteten minskade kraftigt med ökande antal underväxtstammar; vid 10 000 underväxtstammar/ha och samma medelhöjd låg produktivetsminskningen på mellan 34 % vid en medelstamsvolym på 40 dm³ och 30 % vid en medelstamsvolym på 150 dm³. Granunderväxtens höjd hade en något mindre påverkan vid gallring; vid 2000 underväxtstammar/ha och en meters medelhöjd sjönk produktiviteten med 10 % vid en medelstamsvolym på 40 dm³ och 7 % vid en medelstamsvolym på 150 dm³. Vid tre meters medelhöjd och samma stamantal sjönk produktiviteten med 17 % vid en medelstamsvolym på 40 dm³ och 15 % vid en medelstamsvolym på 150 dm³ (Kärhä 2006).

Undersökningar från början av 90-talet visade att beståndsgående skördare påverkades mer av underväxten än då gallring utfördes från stickvägar (Gunnarsson m.fl. 1992). Detta var dock inte något som testades i Kärhäs (2006) studie.

Kärhä (2006) visade att underväxtens täthet även hade en produktionssänkande effekt på skotningsarbetet, men effekten var dock lägre än för skördaren. Vid 2000 underväxtstammar/ha minskade skotarens produktivitet med 1-2 % och vid 10 000 underväxtstammar/ha minskade produktiviteten med 5-7 %, jämfört med om underväxtröjning utförts.

Enligt Kärhä (2006) var underväxtröjning lönsamt när reduktionen av drivningskostnaden i gallring översteg kostnaden för underväxtröjning. Det betydde att vid hög underväxttäthet, medelhöjd, medelstamsvolym och volymsuttag/ha så blev det ekonomiskt lönsamt att utföra underväxtröjning (Tabell 1).

Tabell 1. Stamantalsgränser (underväxtstammar/ha) för lönsam underväxtröjning enligt Kärhä (2006) i bestånd där granunderväxtens medelhöjd är 2 meter. Grön färg indikerar vid vilken skördad medelstamsvolym och virkesuttag underväxtröjning är lönsamt. Röd färg indikerar att det är olönsamt att underväxtröja

Table 1. Stem amount borders (undergrowth stems/ha) for profitable undergrowth clearing according to Kärhä (2006) in stands where the mean height of the spruce undergrowth is 2 meter. Green colour indicates at which harvested mean stem volume and wood harvest that undergrowth clearing is profitable. Red colour indicates conditions where undergrowth clearing is unprofitable

Stamvolym (dm ³)	Virkesuttag (m ³ /ha)								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100
40		1800	1000	600					
50		3600	1600	1000	600	600			
60			2400	1400	1000	800	600		
70			4200	2000	1200	1000	800	600	600
80			10000	2800	1800	1200	1000	800	600
90				4400	2400	1600	1200	1000	800
100				8200	3200	2000	1400	1200	1000
110					4400	2600	1800	1400	1000
120					7200	3400	2200	1600	1200
130						4400	2800	2000	1600
140						6400	3400	2400	1800

Detta medför att det enligt Kärhä (2006) blev lönsamt att underväxtröja i gallringsbestånd även vid relativt låga stamantal av underväxt. Det var dock inte lönsamt att underväxtröja om volymsuttaget av rundvirke/ha var relativt lågt (20-30 m³/ha) (Kärhä 2006). Detta är något som ligger i strid med Gunnarsson m.fl. (1992) som påstår att man inte bör underväxtröja i bestånd med lägre antal av underväxtstammar än 1500-2000 st/ha.

Omfattande underväxtröjning, där all underväxt och buskar röjs bort, kan ha negativa konsekvenser för en del arter som exempelvis skogshöns. Detta beror på att buskskiktet som röjs bort vid totalröjning fungerar som skydd och föda för dessa arter. Speciellt påverkade blir fuktiga, insektsrika marker då dessa fungerar som uppväxtlokaler för kycklingar hos skogshöns (Gunnarsson m.fl. 1992).

Skador

Tahvanainen (2001) påvisade att skadorna på det kvarvarande beståndet efter gallring var högre då ingen underväxtröjning utförts, jämfört med underväxtröjda bestånd. De största skillnaderna uppkom i bestånd som gallrats på barmark och där var 9,0 % av det kvarvarande beståndet skadat då ingen underväxtröjning utförts, vilket kan jämföras med 5,3 % i underväxtröjda bestånd. På marker som gallrats vintertid var skillnaderna mindre då 1,4 % av det kvarvarande beståndet var skadat jämfört med 0,4 % i det underväxtröjda.

De tillväxtförluster som stam- och rotskador medför varierar kraftigt med stamskadans omfattning. Vid stamskador som omfattar mer än 25 % av stammens omkrets fås en

tillväxtförlust kring 30-40 % och vid skador som omfattar mindre än 12,5 % av stamomkretsen fås en tillväxtförlust kring 5 % (Isomäki & Kallio 1974, Andersson 1984). Hur lång tidsperiod som träden påverkas av tillväxtförluster är svårbedömd, men enligt Andersson (1984) kulminerar tillväxtförlusten efter ca 10 år från skadans uppkomst för att sedan minska.

Rotskador som uppkommer vid gallring med stickvägar kan uppgå till 6 % vid 20 meters stickvägsavstånd och ett medelspår djup på drygt 10 cm (Wästerlund 1986). Tillväxtminskningen vid rotskador beror främst på en komprimering av marken och att rötter skadas eller skärs av (Russell & Goss 1974, Kozlova & Bliev 1974).

Troliga kvalitetsnedsättningar på sågtimmer till följd av stamskador är barkdrag och lyror (Fröding 1992). Det framkommer även att skador vid förstagallring har större betydelse än gallringar vid senare tillfällen, då tidiga förstagallringar berör en större del av det framtida centrumutbytet (Blomqvist 1984).

Beståndsskador som uppkommer vid gallring ger, förutom tillväxtförluster och kvalitetsnedsättningar, även en ökad risk för infektion av rötsvampar. Infektionen av rötsvampar gäller framförallt vår inhemska gran (*Picea abies* L. Karst) (Fröding 1992).

Tidsstudier

Enligt Magagnotti och Spinelli (2012) så har tidsstudierna sitt ursprung i det äldre dokumentet *A piece-rate system being a step toward partial solution of the labor problem* som publicerades av F.W. Taylor år 1895. Där påstår Taylor att för varje arbetsmoment fanns det en snabbaste tid som momentet kunde utföras på av en "första-klassens man". "Första-klassens man" var den som var mest lämplig till att utföra arbetsmomentet. Den snabbaste tiden kallades då för standardtid och kunde då fastställas med hjälp av olika vetenskapliga studier. Den svåraste delen med att kunna sätta just en standardtid för ett visst arbetsmoment var att kunna ge en rättvis bild av tidsåtgången. Därför grovindelades standardtid upp i tre kategorier:

1. Tid där arbetet utförs
2. Vila
3. Tid för att komma över förseningar

Syftet med att mäta arbetsprestation är att kunna beskriva samband i arbetet mellan olika indata och utdata, samt utreda vilka processvariabler som påverkar sambandet. Att kunna utreda hur de olika processvariablerna påverkar sambandet mellan indata och utdata kan ha många användningsområden som att exempelvis jämföra olika teknologier eller arbetsmetoder. Processvariabler kommer dock ofta i en mängd olika kombinationer, vilket gör det svårt att avgöra hur mycket den specifika variabeln som studeras påverkar resultatet. Statistiska metoder är därför betydelsefulla för att kunna bestämma effekten på den variabel som ska studeras (Magagnotti & Spinelli 2012).

Enligt Magagnotti och Spinelli (2012) kallas den variabel som studeras i studien generellt för målvariabel och andra variabler kallas försvårande variabler och kan sägas påverka studien som ett "bakgrundsbrus". Designen på studien är därför viktig för att kunna dämpa dessa

variabler och enkelställa den så kallade målvariabeln. Artikelförfattarna föreslår fyra strategier för att dämpa dessa variabler och dessa är:

1. Randomisera
2. Blockera
3. Konstanthålla
4. Kovariat

Jämförande studier är en arbetsstudietyp som syftar till att fastställa om och hur prestationen påverkas av två eller fler alternativ (t.ex. underväxtröjt eller oröjt). Kort sagt så försöker jämförande studier att avslöja effekten hos de konstanthållna faktorerna (Magagnotti & Spinelli 2012).

Frekvensstudier är en teknik för att mäta de olika momentens del av tidsåtgången genom att processen observeras med fasta eller slumpade intervall. Det ger ett material som tillhandahåller den relativa frekvensen av de olika momenten inom den totala tiden (studietiden) (Magagnotti & Spinelli 2012).

Motivering

Antalet studier som behandlar hur lövunderväxt påverkar drivningsarbetet i gallring är relativt få, till skillnad mot granunderväxt, och de framtagna resultaten om dess effekter är motstridiga, vilket gör det svårt att bedöma lövunderväxtens påverkan på drivningsarbetet och skadeandelen i kvarvarande bestånd. Den här studien avser därför till att kunna ge ett bättre underlag om hur lövunderväxt påverkar drivningsarbetet i gallring inom Västerbottens län.

Syfte

Syftet med den här studien var att: 1) mäta och jämföra hur underväxten påverkar prestationen för ett maskinlag i gallring vid olika medelstamsvolymmer i jämförelse med om underväxtröjning utförts. 2) Beräkna om underväxtröjning är en användbar åtgärd för att minska kostnaderna vid de olika medelstamsvolymerna.

Frågeställning

- Hur påverkar underväxten prestationen hos skördare och skotare i gallring?
- Påverkar underväxten skadefrekvensen på det kvarvarande beståndet?
- Vilket arbetsmoment påverkas främst av underväxt för skördare?
- Leder underväxt till att prestationen i lastningsmomentet minskar för skotare?
- Hur påverkar underväxt avverkningskostnaderna vid olika medelstamsvolymmer?
- Hur mycket påverkas röjarens prestation vid olika stamantal av underväxt?
- Vid vilka medelstamsvolymmer är de sammanlagda kostnaderna för underväxtröjning och gallring mindre än avverkningskostnaden för enbart gallring i bestånd som inte underväxtröjts?

Material och metod

Studiedesign

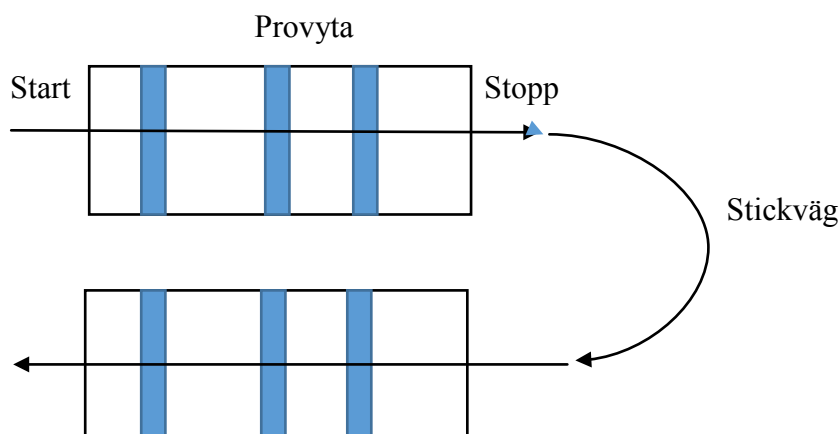
Studien utfördes enligt följande steg:

1. Bestånd som var i behov av underväxtröjning och gallring utsöktes i beståndsregistret och kontrollbesöktes i fält.
2. Försöksområden markerades och inom dessa märktes parceller ut och inventerades systematiskt med slumpmässig start.
3. Parceller med liknande egenskaper parades ihop och behandlingsmetod lottades ut.
4. Underväxtröjning utfördes i hälften av parcellerna och tidsstuderades.
5. Inventering utfördes i underväxtröjda parceller.
6. Gallring av parceller utfördes och drivningsarbetet tidsstuderades.
7. Slutinventering av alla parceller samt inventering av skador, stickvägsbredd och stickvägsavstånd.

Försöksområde

Försöket utfördes i två talldominerade bestånd (block 1 och block 2) som var aktuella för gallring. Underväxten inom de två bestånden dominerades av lövträd i 2-3 meters höjd. Bestånden var belägna inom 3 mil från Skellefteå på Norra Skogsägarnas fastigheter. Bestånden var belägna på mark med liknande grundförhållanden, ytstruktur och lutning vilket bedömdes subjektivt till 2:1:1 enligt Bergs (1982) terrängtypschema. Detta betydde att drivningsförhållandena var goda. Ståndortsindex var subjektivt bedömd till T20 i block 1 och T21 i block 2 enligt ståndortsfaktorer i skogsbruksplan, vilket var ett relativt vanligt ståndortsindex inom området (Skogsstyrelsen 2014). Ett försöksområde per bestånd med en ungefärlig areal på 2 ha snitslades sedan in med röd-blå snitselband.

Inom varje bestånd lades sex parceller ut i storleken 20x50 meter (0,1 ha), där stickvägen skulle löpa från kortsidans mitt till nästa kortsidas mitt (Figur 2). Målet med placeringen av parcellerna var att de inte skulle påverka entreprenörernas körning och vara så lika varandra som möjligt med hänsyn till medelstam, underväxttäthet och antalet stammar över 8 cm i brösthöjd (st/ha) (Tabell 2). Parcellerna mättes ut med hjälp av ett 50 meters måttband och GPS användes för att markera och lägga in ytorna i traktdirektivet. Sidorna snitslades med blå snitselband, start och stopp snitslades med röda/fluorescerande snitselband och stickvägar markerades med vit-blå snitselband.



Figur 2. Skiss över parceller och provytor. De mörka områdena är provytor, pilarna är stickväg och rektanglarna är parceller.

Figure 2. Sketch over study units and sample areas. The dark areas are sample areas, the arrows are strip-roads and the rectangles are study units.

Skogstillståndet bedömdes genom systematisk bältesinventering med slumpmässig start. Detta utfördes både före och efter röjning (enbart för de röjda parcellerna), samt efter gallring. Bältena var två meter breda och 20 meter långa och lades vinkelrätt mot stickvägen. Det första bältet slumpades ut inom 2-10 meter från ena ytterkanten och lades sedan systematiskt med 20 meters avstånd. Ytterkanterna på bältet markerades med röda plogpinnar för att dessa sedan skulle kunna upptäckas och användas under resterande inventeringar. Från måttbandet gick bältet två meter mot startriktningen och inom bältena räknades alla träd med höjd över 30 cm och alla träd över 1,3 m blev diametermätta på bark i brösthöjd (dbh) genom klavning. Alla träd under 7,9 cm i dbh räknades som underväxtstam och alla träd från och med 8,0 cm räknades som gallringsstam. För alla träd över 30 cm i höjd noterades även trädslag för barrträden, och lövträden noterades enbart som löv (enbart underväxt), då avlövning hade påbörjats under inventeringen. Träd med dubbelstam över 8 cm i dbh med klykan under brösthöjd noterades och där mättes varje stam som enskilt träd. Gränsträd mättes in om mer än halva trädets diameter var inom bältet.

Under den första inventeringen av de två försöksområdena togs 44 gallringsstammar och 197 underväxtstammar ut som provträd per försöksområde, där dbh och höjd mättes. Dessa togs ut systematiskt, det vill säga att var tredje eller fjärde gallringsstam och var sjunde underväxtstam togs ut som provträd. Gallringsstammarnas höjd och diameter användes sedan som indata i Brandels mindre volymfunktion 300, som gav stamvolym i fastkubikmeter under bark ($m^3\text{fub}$) (Brandel 1990). För att kunna bedöma den stående volymen i de olika försöksområdena skapades sedan sekundära volymfunktioner genom regressionsanalys i Minitab 16 för varje försöksområde med dbh som förklarande variabel (Bilaga 9). Då antalet provträd av björk och gran ansågs vara för få och inte var spridda i olika diameterklasser så användes volymfunktionen för tall för dessa trädslag, vilket tidigare också gjorts av Olovsson (2014).

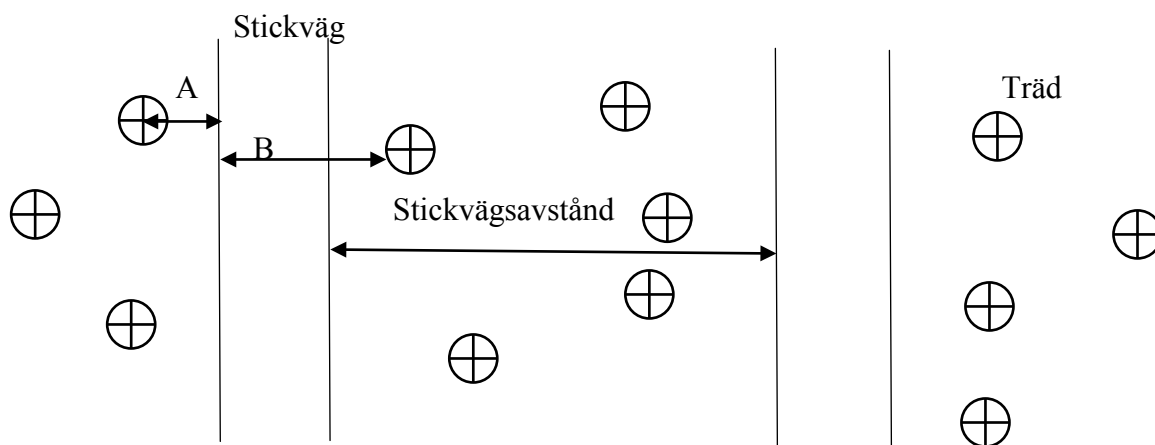
Inventering av olika former av skador skedde inom de olika bältena i samband med slutinventeringen enligt det förfarandesätt som användes av Larsson (2003), förutom att skadefrekvensen enbart mättes inom provytorna.

Stamskador mättes på alla stammar över 8 cm i dbh inom provytorna. För att räknas som stamskada krävdes det att skadan översteg 15 cm² och var belägen ovan tänkt stubbskär. Stamskadorna indelades i två klasser efter Fröding (1992): 1) barkfläkning; skada som enbart berör barken och 2) vedskada; skada som når in i veden så att fiberbrott kan urskiljas.

Skador på rötter registrerades inom alla provytor. Registrerad rotskada skulle vara belägen under tänkt stubbskär och inom 70 cm från stammens mantelyta. Rotens diameter vid skadan skulle överstiga 2 cm (Fröding 1992). Enbart skador ovan mark registrerades.

Skador på rothalsar registrerades inom alla provytor. Skador på rothals skulle vara belägen ovan mark men under tänkt stubbskär.

Stickvägsbredd mättes enligt "Sondells metod" på en tio meters sträcka vid det mittre bältet, där bältet var beläget mitt på tio meters sträckan. Mätning av stickvägsbredd enligt "Sondells metod" innebar att avstånden till de närmast belägna trädens centrum på vardera sida av stickvägen mättes från ett och samma hjulspår (Sondell 1974). Stickvägsavstånd mättes från kanten av stickvägen vid samma bälte till kanten av stickvägen som låg rakt innanför med ett 50 meters måttband (Figur 3).



Figur 3. Skiss över mätning av stickvägsbredd och stickvägsavstånd enligt Sondell (1974). A markerar avståndet mellan hjulspåret och det närmast belägna trädets centrum. B markerar avståndet mellan hjulspåret och det närmast belägna trädets centrum på andra sidan stickvägen. A+B ger stickvägsbredd.

Figure 3. Sketch over measurements of strip-road width and distance according to Sondell (1974). A marks the distance between the wheel-track and the closest located tree center. B marks the distance between the wheel-track and the closest located tree on the other side of the strip-road. A+B is the strip-road width.

Tabell 2. Parcellernas egenskaper före gallring
Table 2. The parcels attributes before thinning

Block	Behandling	Parcell	P a r	Utgångstillstånd					Efter underväxtröjning						
				Underväxt- stammar (n/ha)	Gallrings- stammar (n/ha)	Medel- diameter (mm)	Bestånds- volym (m ³ fub/h a)	Bestånds- medelstamsvolym (m ³ fub)	Granandel (% av underväxt)	Lövunderväxt (> 3m)	Medelhöjd underväxt (dm)	Underväxt- stammar (n/ha)	Differens (n/ha)	Gallrings- stammar (n/ha)	Differens (n/ha)
1	Oröjt	1	1	10917	1750	114	88	0,05	15,3	1667	21,9				
	Under- röjning	5		14417	1750	134	135	0,077	7	5000	27,7	333	-14084	1750	0
	Oröjt	2	2	10917	1750	142	150	0,086	13	4083	28,7				
	Under- röjning	6		6833	1417	144	126	0,089	17,1	2583	26,1	83	-6750	1417	0
	Oröjt	4	3	11083	1083	135	81	0,075	14,3	3250	24,9				
	Under- röjning	3		9333	1750	138	149	0,085	13,4	3417	28,8	250	-9083	1750	0
2	Oröjt	5	1	11083	583	150	63	0,109	7,5	2750	21,1				
	Under- röjning	1		13083	1167	139	107	0,091	12,1	1417	17,8	167	-12916	1167	0
	Oröjt	4	2	14250	1250	147	128	0,102	8,2	2500	19				
	Under- röjning	2		14333	1583	134	142	0,089	12,2	3833	22,9	500	-13833	1583	0
	Oröjt	6	3	17583	1083	159	135	0,124	4,3	4000	21				
	Under- röjning	3		17250	1167	161	145	0,125	7,2	5083	21,4	83	-17167	1167	0

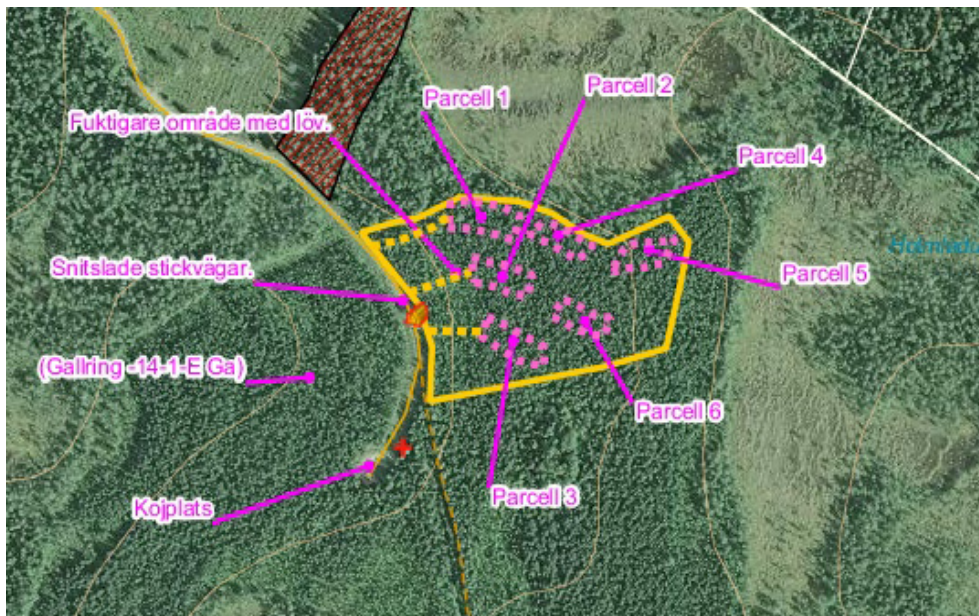
Försöksupplägg

Försöket genomfördes som en randomiserad blockstudie med två behandlingar (gallring med underväxt och gallring utan underväxt) inom varje block, som sedan lottades ut inom parcellparen i varje block. Blockindelning genomfördes med hänsyn till att parcellerna inom blocken var så lika som möjligt med avseende till medeldiameter, stamantal/ha och antal underväxtstammar/ha (Tabell 2).



Figur 4. Beståndskarta för gallringen i block 2. Parcellerna är markerade med siffror.

Figure 4. Stand map for the thinning in block 2. The study units are marked with numbers.



Figur 5. Beståndskarta för gallringen på block 1. I block 1 lades parceller ut med en stickväg emellan.

Figure 5. Stand map for the thinning in block 1. In block 1 the study units were put out with one strip-road between.

Genomförande

Inom blocken underväxtröjdes hälften av parcellerna av en erfaren röjare som röjde enligt Norra Skogsägarnas riktlinjer för underväxtröjning, vilket medförde att alla avverkningshämmande stammar under 8 cm i brösthöjd skulle röjas bort (Bilaga 8). Röjaren hade under genomförandet en röjmall för att bedöma om stammarna var under 8 cm i brösthöjd. Underväxtröjningen utfördes under en dag för varje bestånd med 8 dagars mellanrum. Då röjningen av block 2 utfördes var marken täckt av några centimeter snö, vilket inte var fallet vid röjningen av block 1. Vid bäge tillfällena hade lövträden fällt sina löv.

Tidtagning för röjning utfördes med tidtagarur. Tidsstudien startade när röjaren passerade den snitslade startlinjen med röjsågen i gång och avslutades när röjsågen stängdes av och röjaren ropade att han var färdig med parcellen. Tidtagning stoppades vid avbrott som filning av klinga och påfyllning av bränsle.

Gallringen utfördes för samtliga parceller inom varje block under en dag med sex dagars mellanrum mellan blocken. Maskinen som användes var en Eco Log 580 D med det flerträdshanterande aggregatet Log max 5000D. Vid avverkningen av parcellerna registrerades antalet skördade stammar och uttagen fastvolym under bark. Då det kan finnas svårigheter att bedöma de olika momenten i underväxttäta bestånd och samtidigt hålla behörigt säkerhetsavstånd bestämdes det att rapportförfattaren åkte med i hytten under avverkningen av alla parceller. Tidtagning för avverkningen utfördes med tidtagarur och för frekvensstudien användes en metronomen. Frekvensen var sju sekunder. Tidsstudien startade när aggregatet passerade den snitslade startlinjen och avslutades när skördarföraren såg att parcellen var färdiggallrad. Skördarstudien startade vid sjutiden på morgonen den 15/10-2014 i block 1 och kring tolvtiden på dagen den 21/10-2014 i block 2. Då gallringen av block 2 utfördes var marken täckt av några centimeter snö, vilket inte var fallet i block 1.

Arbetsmomentindelning och prioritering av arbetsmoment gjordes liknande Olovsson (2014), med undantag för att körning mellan uppställningsplatser slogs ihop till ett moment och att momentet risrensning tillkom. Arbetsmomentet risrensning tillkom för att mäta skillnader i röjning av underväxt med aggregatet mellan behandlingsmetoderna, vilket det fanns indikationer på att det hade inverkan i tidigare studier av Kärhä (2006).

Tabell 3. Arbetsmomentindelning för skördare med beskrivning och prioritet
Table 3. Work elements for harvester with description and priority

Arbetsmoment	Beskrivning	Prioritet
Uppbearbetning	Positionering, fällning och upparbetning. Startar när skördaraggregatet greppar stammen och avslutas när sista biten lämnar aggregatet.	1
Förflyttning mellan uppställningsplatser	Börjar då hjulen rör sig och slutar när hjulen står stilla.	2
Kran ut	Börjar då kranen förs ut mot stammen och slutar då skördaraggregatet greppar stammen.	3
Kran in	Börjar då kranen förs in utan gagnvirke i aggregatet och slutar då något annat moment börjar.	3
Risrensning	Röjning av hämmande underväxt med aggregatet.	3
Väntan	Tid då varken kran eller hjul rör sig eller uppbearbetning sker.	3
Övrigt	Inget av ovanstående, men ingående i det faktiska arbetet, t.ex. omflyttning av virke.	3
Störning	Innefattar alla avbrott och störningar som inte är knutna till arbetet, t.ex. telefonsamtal, kedjebrott eller slangbyte. Tidsstudien stoppas och fortsätter efter störning är åtgärdad.	3

Skotningen utfördes under dagtid för alla parceller inom varje bestånd med 8 dagars mellanrum. Skotarföraren körde en ny Ponsse Elephant som hade tagits ut från fabrik några veckor innan tidsstudien påbörjades. Skotarstudierna startade runt elvatiden, den 15/10-2014 i block 1 och runt 13-tiden den 23/10-2014 i block 2. Då skotningen av block 2 utfördes var marken täckt av några centimeter snö, vilket inte var fallet i block 1.

Vid planeringen av studiens upplägg antogs det att lastningen var det arbetsmoment som borde påverkas av underväxten och att övriga moment var oberoende av dess påverkan. Mätningen av skotarens arbetsmoment valdes därför till att enbart innefatta arbetsmomenten lastning och förflyttning mellan uppställningsplatser i fält. För att kunna få skotarens totala produktivitet modellerades istället arbetsmomentfördelningen utifrån Kellog och Bettinger (1994), där lastningsarbetet upptog 49,7 % av tiden vid 300 meters skotningsavstånd enkel väg och om enbart massaved skotas.

Tidtagningen vid lastning och förflyttning mellan arbetsplatser utfördes med tidtagarur och under skotningen av parcellerna noterades antalet krancykler för varje parcell. En krancykel räknades från och med att virkesgripen lämnade lastutrymmet, grep ett parti virke och lastade. En ny krancykel påbörjades sedan när virkesgripen lämnade lastutrymmet för att gripa ett nytt virkesparti och så vidare.

Beräkningar och statistisk analys

De tidsenheter som normalt används bland tidsstudier är G_0 -tid och G_{15} -tid. G_0 -tid innebär effektiv tid utan avbrott och G_{15} -tid innefattar även eventuella avbrott under 15 minuter (Brunberg 1997). I denna studie har produktiviteten i G_0 -tid använts till analyserna, men för att kunna jämföra ekonomi och produktivitet med andra studier har produktiviteten beräknats

om till G_{15} -tid. Omvandlingstalet som användes var 0,92 G_0 -timmar/ G_{15} -timmar för skördare och 0,94 G_0 -timmar/ G_{15} -timmar för skotare (Brunberg, 2015, pers. komm.).

Uttagsuppgifterna från skördardatorn (volym i m^3 fub och antal stammar) användes som underlag för produktivitätsberäkningarna för skördaren och skotaren.

Prestationen i lastningsmomentet för skotaren beräknades genom att tidsåtgången dividerades med antalet krancykler för att få *Medeltid/krancykel* per parcell och totalt. Den avverkade virkesvolymen för varje parcell insamlades från skördardatorn och användes för att räkna ut *Medelvolym/krancykel*. Produktiviteten i momentet räknades sedan ut genom att volymen dividerades med tidsåtgången i sekunder och multiplicerades sedan med 3600 för att få produktiviteten i m^3 fub/ G_0 -timma.

Produktiviteten för skördaren på parcellnivå beräknades genom att volymen dividerades med tidsåtgången i sekunder och multiplicerades sedan med 3600 för att få produktiviteten i m^3 fub/ G_0 -timma.

All data från de olika tidsstudierna sammanställdes i Microsoft Excel och analyserades i Minitab 16 med 5 % signifikansnivå som gräns. Skillnader i fördelning av arbetsmoment, stickvägsbredd, stickvägsavstånd och beståndsegenskaper analyserades med hjälp av parvisa t-test.

Skillnader i skördarens produktivitet mellan de olika behandlingstyperna undersöktes med hjälp av variansanalys (ANOVA) på block- och parcellnivå genom en generell linjär modell. I variansanalysen på parcellnivå sattes behandlingstyp som fix faktor och parcellpar som slumpvis faktor. Skördad medelstamsvolym (m^3 fub) användes som ett kovariat. I variansanalysen på blocknivå sattes behandlingstyp som fix faktor och block som slumpvis faktor. Medelstamsvolymen (m^3 fub) användes som ett kovariat. Skillnader i skotarens produktivitet i lastning mellan de olika behandlingstyperna undersöktes med hjälp av variansanalys (ANOVA) på block- och parcellnivå genom en generell linjär modell. I variansanalysen på parcellnivå sattes behandlingstyp som fix faktor och parcellpar som slumpvis faktor. Volym per krancykel (m^3 fub) användes som ett kovariat. I variansanalysen på blocknivå sattes behandlingstyp som fix faktor och block som slumpvis faktor. Volym per krancykel (m^3 fub) användes som ett kovariat.

Ekonomi

Den avtalade kostnaden för underväxtröjning inom distriktet låg i november 2014 på 1300 kr/ha (Strömberg, 2014, pers. komm.).

Investeringsbeloppen för skördaren och skotaren gavs av företagen Eco Log AB och Ponsse AB (Sundberg, 2015, pers. komm., Lukkarinen, 2015, pers. komm.). Flyttkostnader och teknisk utnyttjandegrad gavs av Norra Skogsägarna (Kemppainen, 2015, pers. komm.) och resterande uppgifter (Tabell 6) togs från Bergkvists (2010) studie.

Tabell 4. Ingångsvärden för maskinkostnadskalkyl för skördare och skotare**Table 4.** *Input values for machine cost calculation for harvester and forwarder*

Ingångsvärden	EcoLog 580D med Log Max 5000 D-aggregat	Ponsse Elephant med band
Investeringsbelopp exkl. moms (kr)	3800000	3550000
Restvärde (%)	15	15
Kalkylränta (%)	7	7
Ekonomisk livslängd (år)	4	4
Kostnad förare inkl. sociala avgifter (kr/ G ₁₅ -timme)	300	300
Driftkostnad (kr/ G ₁₅ -timme)	350	240
Flyttkostnad (kr/år)	94050	47200
Teknisk utnyttjandegrad (%)	77	88,2
Antal flyttar per år (n)	99	59

Maskinkostnadskalkylen baserades på ingångsvärdena i Tabell 4 och uppgifter från BR-kalkyl (Bilaga 6 och 7) för skördare och skotare som tidigare använts vid upphandling (Erik Kemppainen, 2015, pers. komm.).

Tabell 5. Skördarens och skotarens beräknade kostnader exklusive vinstmarginal**Table 5.** *The harvester and forwarder's calculated costs excluding profit margin*

	EcoLog 580D med Log Max 5000 D-aggregat	Ponsse Elephant med band
Kapitalkostnad (kr/år)	896909	837902
Rörlig kostnad (kr/G ₁₅ -timme)	650	540
Flyttkostnad (kr/år)	94050	47200
Effektiv körtid (G ₁₅ -timme/år)	2315	2713
Total kostnad (kr/år)	2495687	2349973
Timkostnad (kr/G ₁₅ -timme)	1078,1	866,2

Maskinkostnaderna i känslighetsanalysen utgick ifrån maskinkostnadskalkylen (Tabell 5). I känslighetsanalysen jämfördes drivningskostnaderna (kr/m³fub) för de två maskinsystemen (Underröjt och Oröjt) vid olika förutsättningar i gallringsarbetet. I kostnaderna för maskinsystemet Underröjt inräknades drivningskostnad för maskinerna (kr/m³fub) samt röjningskostnad (kr/ha). I kostnaderna för maskinsystemet Oröjt inräknades enbart drivningskostnaderna för maskinerna (kr/m³fub).

För att kunna jämföra de olika maskinsystemen normerades följande faktorer:

- Terrängtransportavstånd sattes till 300 meter enkel väg.
- Skördad medelstamsvolym sattes till 0,06 och 0,10 m³fub.
- Gallringsuttag sattes från 20 till 60 m³fub/ha med ett intervall på 10 m³fub
- Volym per krancykel sattes till 0,25 m³fub för skotaren

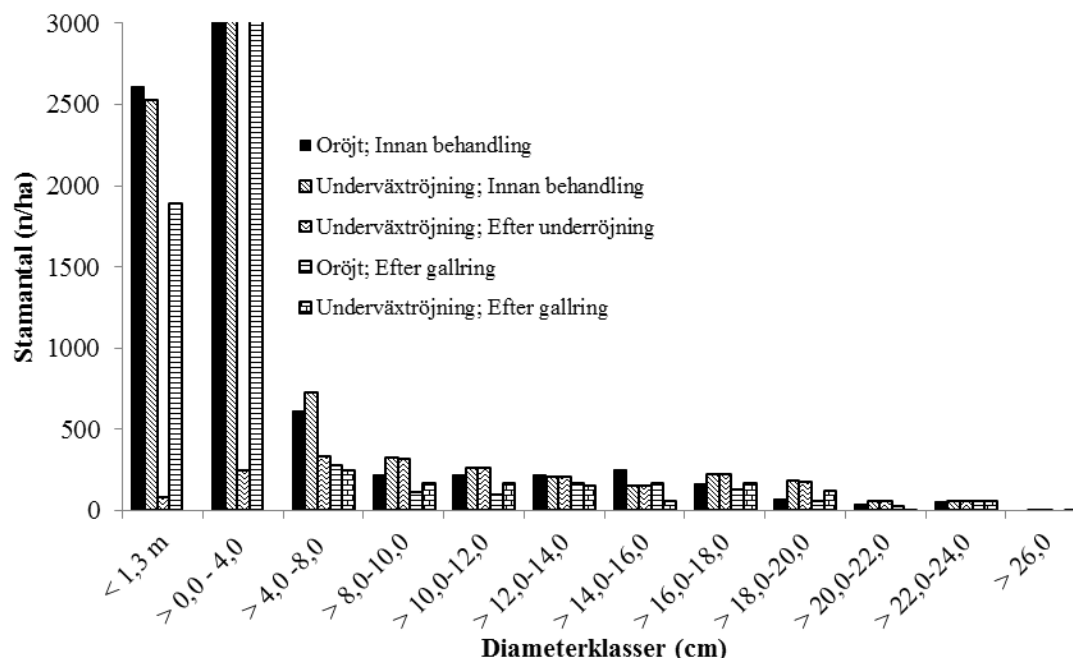
Tabell 6. Förutsättningar för känslighetsanalysen**Table 6.** *Conditions for sensitivity analysis*

Scenario	Ingångsvärden
1	Granandel 100 % 10 000 underväxtstammar/ha 2 meters medelhöjd på underväxt
2	Avtalad kostnad för underväxtröjning ökar till 2200 kr/ha
3	Timkostnad skördare 1200 kr/h Timkostnad skotare 800 kr/h
4	Granandel 100 % 10 000 underväxtstammar/ha 2 meters medelhöjd på underväxt Timkostnad skördare 1200 kr/h Timkostnad skotare 800 kr/h

I känslighetsanalysen modellerades fyra scenarion med syftet att jämföra skillnader i kostnader mellan maskinsystemen (Underröjt och Oröjt) utifrån olika förutsättningar (Tabell 6). Det första scenariot modellerades utifrån den påverkan granunderväxten hade haft på skördarens och skotarens produktivitet i Kärhä (2006). I det andra scenariot ökades det avtalade ackordspriset för underväxtröjning. Det tredje och fjärde scenariot föreställde hur drivningskostnaden förändrades om skördarens timkostnad ökade till 1200 kr/G₁₅-timme och skotarens timkostnad minskade till 800 kr/G₁₅-timme. Scenario 3 beskriver kostnaden vid lövunderväxt och scenario 4 beskriver kostnaden utifrån granunderväxt.

Resultat

Gallrade volymer och kvalitet



Figur 6. Underväxtens och gallringsstammarnas antal fördelat på diameterklasser i brösthöjd efter behandlingstyp. För att åskådliggöra skillnader har skalan på y-axel begränsats till 3000. Inom intervallet >0,0-4,0 cm dbh har tre staplar värden som överstiger skalan på y-axel. Oröjt; Innan behandling: 7750 stammar/ha. Underväxtröjning; Innan behandling: 6944 stammar/ha. Oröjt; Efter gallring: 4750 stammar/ha.

Figure 6. The undergrowth and thinning stem amount distributed on diameter classes (cm) in breast height after type of treatment. To illustrate the differences, the scale on the y-axis been limited to 3000. Within the range >0,0-4,0 cm dbh has, three columns have values that exceeds the scale limits on the y-axis. Uncleared; before treatment: 7750 stems/ha. Undergrowth cleared; before treatment: 6944 stems/ha. Uncleared; after thinning: 4750 stems/ha.

De stora skillnaderna i underväxtens fördelning mellan diameterklasser förekom mellan > 0,0-4,0 cm och i underväxt under 1,3 meters höjd (Figur 6). Underväxtröjningen hade ingen påverkan på antalet gallringsstammar/ha.

Medelstamsvolymen ökade i 10 av 12 parceller efter utförd gallring (Tabell 7). Antalet underväxtstammar i de öröjda bestånden hade minskat med ungefär 3000-5000 stammar/ha efter utförd gallring. Gallringsuttaget var 32 % högre i block 1 och låg på 49 m³fub/ha i medel, vilket kan jämföras med medeluttaget 37 m³fub/ha i block 2 (Tabell 7).

Tabell 7. Parcellernas egenskaper efter gallring
Table 7. The study units attributes after thinning

Block	Behandling	Parcell	Underväxt	Gallrings- stammar	Medel- diameter	Bestånds- volym	Beståndsmedelstams- volym	Skördad* medelstams- volym	Utags- volym*
			< 8 cm (n/ha)	> 8 cm (n/ha)	(mm)	(m³fub/ha)	(m³fub)	(m³fub)	(m³fub/ha)
1	Oröjt	1	7417	833	116	44	0,053	0,051	44
	Under- röjning	5	83	1083	145	98	0,091	0,075	46
	Oröjt	2	6167	1083	152	108	0,099	0,067	35
	Under- röjning	6	0	750	132	58	0,078	0,095	55
	Oröjt	4	7250	917	128	61	0,067	0,069	57
	Under- röjning	3	167	1083	143	98	0,09	0,09	57
	Oröjt	5	8667	417	164	55	0,133	0,109	35
	Under- röjning	1	83	750	142	71	0,094	0,1	38
	Oröjt	4	10417	750	166	99	0,131	0,077	41
	Under- röjning	2	333	1083	150	136	0,126	0,073	33
2	Oröjt	6	12750	833	161	113	0,136	0,109	35
	Under- röjning	3	0	750	151	89	0,118	0,079	41

* Beräknat från skördardata.

Stickvägsbredd och stickvägsavstånd

Det fanns inga signifikanta skillnader i stickvägsbredd och stickvägsavstånd mellan behandlingsformerna (Tabell 8).

Tabell 8. Stickvägsbredd och stickvägsavstånd fördelat på behandling
Table 8. Strip-road width and distance distributed per treatment

Variabel	Oröjt		Röjt		p-värde
	Medelvärde	σ^*	Medelvärde	σ^*	
Stickvägsbredd (cm)	433,33	16,02	420	18,97	0,31
Stickvägsavstånd (m)	18,45	2,58	17,8	2,35	0,505

* Standardavvikelse

Skador

Det fanns inga rothalsskador på provytorna. Det fanns inga signifikanta skillnader i skador mellan behandlingsformerna trots att det enbart fanns stamskador i de oröjda provytorna. Det kan bero på att stamskadan var lokaliserad till enbart en provyta (Tabell 9).

Tabell 9. Skador per hektar fördelat på behandling
Table 9. Damages per hectare distributed per treatment

Skadetyper	Oröjt		Röjt		p-värde
	Medelvärde	σ	Medelvärde	σ	
Rotskador/ha	41,7	69,72	41,5	45,5	0,996
Stamskador/ha	13,8	34,02	0	0	0,363

Effektivitet och produktivitet

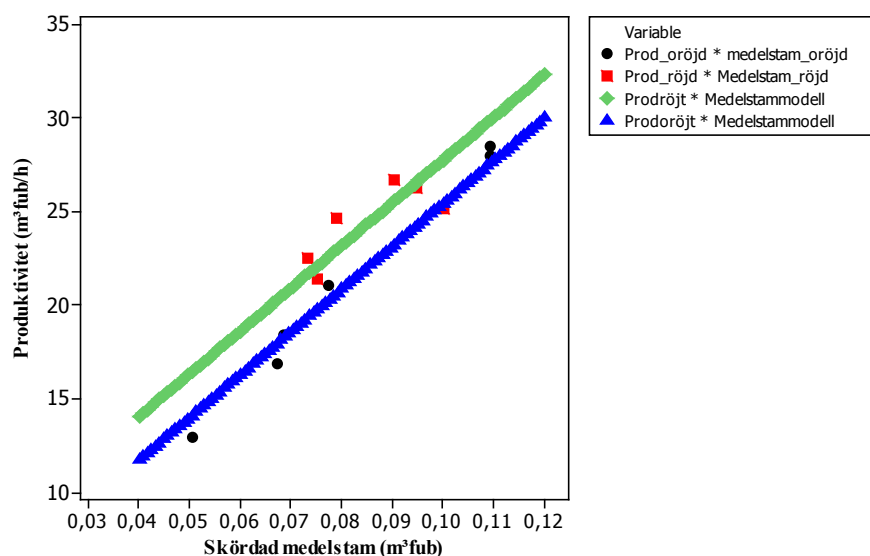
Skördaren

Dataanalysen för arbetsmomentens tidsåtgång per avverkad m³fub utfördes för samtliga parceller och det kan noteras att tidsåtgången för samtliga moment ökade vid kvarlämnad underväxt. Det var dock enbart tidsåtgången vid risrensning som skiljde sig signifikant (p-värde 0,026) åt mellan behandlingsformerna (Tabell 10). Den stora standardavvikelsen bidrog troligen till att det inte blev någon signifikant skillnad mellan behandlingarna. Det ger dock en indikation på att kvarlämnad underväxt har en viss påverkan på alla arbetsmoment.

Tabell 10. Arbetsmomentens tidsåtgång per avverkad m³fub fördelat på behandling
Table 10. The work elements time consumption per harvested m³fub distributed on treatment

Arbetsmoment	Tidsåtgång per avverkad kubikmeter (s/m ³ fub)							Arbetstidens fördelning (%)	
	Oröjt		Röjt		Differens		p-värde	Behandlingsmetod	
	Medelvärde	σ	Medelvärde	σ	Medelvärde	σ		Oröjt	Underröjt
Uppbearbetning	111,2	30,2	96,5	5,6	14,7	28,4	0,261	59,88	65,07
Förflyttning	29,56	5,76	26,08	9,56	3,48	10,61	0,458	15,92	17,59
Kran ut	23,16	14,4	18,94	7,42	4,22	17,38	0,578	12,47	12,77
Kran in	8,76	4,81	6,37	3,86	2,39	7,12	0,793	4,72	4,3
Risrensning	12,97	10,41	0,42	0,65	12,55	9,87	0,026	6,98	0,28
Total tidsåtgång	185,7	57,4	148,3	13,3	37,3	63,1	0,207	100	100

Variationsanalysen som utfördes på parcellpar respektive blocknivå påvisade att skördad medelstamsvolym (m³fub) och behandlingstyp (oröjt/underröjt) hade en signifikant påverkan på skördarens produktivitet i gallring. Medelstamsvolymen hade p-värdet 0,003 på parcellpar och <0,001 på blocknivå. Behandlingsformen hade p-värdet 0,05 på parcellpar och 0,019 på blocknivå. Förklarandegraden var hög (R²-adjusted=91,94 % på blocknivå och 91,80 % för parcellpar) trots att antalet studerade parceller enbart var sex stycken för respektive behandlingstyp. Utifrån variationsanalysen kunde funktionerna nedan användas för att beskriva produktiviten (se också Bilaga 1.).



Figur 7. Skördarens skattade produktivitet vid olika medelstamsvolym och behandlingsmetod.

Figure 7. The harvester's estimated productivity at different mean stem volumes and treatment method.

Oröjd: $P = 228,57 * V - 1,1675 + 3,724$

Underväxtröjd: $P = 228,57 * V + 1,1675 + 3,724$

P = Produktivitet (m³fub/G₀-timme)

V = Uttagen medelstamsvolym (m³fub)

Skotaren

Dataanalysen av skotarens prestation i lastningsmomentet utfördes för samtliga parcellpar och visade på att tiden per krancykel ökade med 11,7 % och tiden per lastad m³fub ökade med 11,6 % i de parceller där underväxten lämnats kvar. Det finns dock inga signifikanta skillnader mellan behandlingsformerna. Resultaten indikerar trots allt att underväxten har viss påverkan på skotarens arbete.

Tabell 11. Skotarens prestation i lastning och körning mellan lastplatser beroende på behandling

Table 11. The forwarder's performance in loading and driving between loading positions depending on treatment

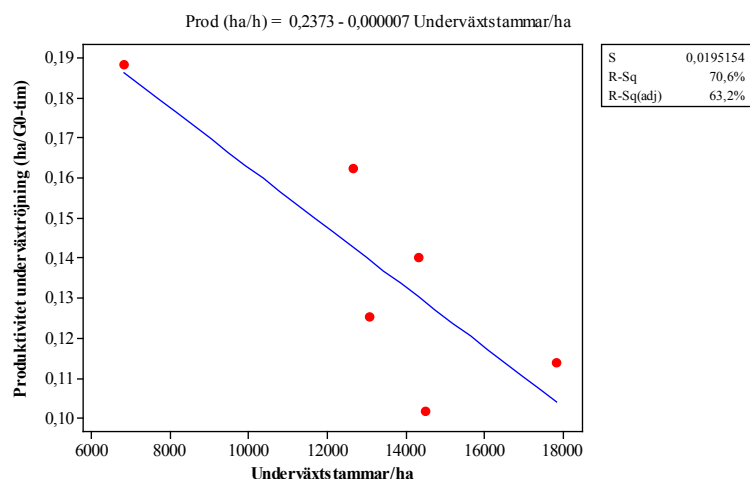
Variabel	Skotarens prestation i lastning och förflyttning mellan uppställningsplatser beroende på behandlingstyp						
	Oröjt		Underröjt		Differens		p-värde
	Medelvärde	σ	Medelvärde	σ	Medelvärde	σ	
m³fub/krancykel	0,2402	0,0568	0,2338	0,0424	0,0063	0,0676	0,827
Sek/krancykel	22,71	3,74	20,33	3,79	2,38	4,64	0,264
Sek/m³	96,97	17,62	86,91	2,7	10,06	17,6	0,22

Variansanalysen som utfördes på blocknivå visade att volymen per krancykel och beståndstypen hade en stark signifikant påverkan på skotarens produktivitet i lastningsmomentet (p-värde 0,004 och 0,017) (Bilaga 3). Skillnaden mellan blocken kan ha berott på att gallringsbehovet och virkeskoncentrationen var större i det ena blocket, vilket i sin tur påverkade koncentrationen av virkeshögar. Behandlingsformen hade viss påverkan på skotarens prestation i lastning på blocknivå, men den var inte signifikant (p-värde 0,066). Den

justerade förklarandegraden var relativt hög (R^2 -adjusted= 73,19 % på blocknivå och 81,16 % för parcellpar).

Underväxtröjning

Antalet underväxstammar per hektar hade en signifikant påverkan på röjarens produktivitet i underväxtröjning (p-värde 0,036) (Figur 14).



Figur 14. Röjarens produktivitet (ha/G₀-timme) vid olika stamantal.

Figure 14. The brush-cutter's productivity (ha/G₀-h) at different amounts of undergrowth stems.

Produktivitet och kostnader för medelbestånden

Skördaren

Skördarens drivningskostnad minskade i underväxtröjda bestånd med 3-8 kr/m³fub beroende på medelstammens volym i jämförelse med bestånd som inte underväxtröjts (Tabell 13). Skördarens produktivitet ökade dessutom med 8-12,3 % i underväxtröjda bestånd.

Tabell 12. Skördarens produktivitet och kostnader i gallring vid de medelstamsvolymer 0,06 och 0,10 m³fub utifrån en skördarkostnad på 1078,1 kr/G₁₅-tim

Table 12. The harvester's productivity and costs in thinning at mean stem volumes 0,06 and 0,10 m³fub by a harvester cost of 1078,1 SEK/m³fub

Medelstam (m ³ fub)	Behandling	Produktivitet (m ³ fub/G ₁₅ -tim)	Differens (%)	Drivningskostnad (kr/m ³ fub)	Differens (kr/m ³ fub)
0,06	Underröjd	17,1	12,3	63	-8,8
	Oröjd	15		71,9	
0,10	Underröjd	25,5	8,2	42,3	-3,8
	Oröjd	23,4		46,1	

Skotare

Skotarens drivningskostnad uppgick till 38,0 kr/m³fub vid en driftkostnad på 866,2 kr/G₁₅-timme, ett normerat terrängtransportavstånd på 300 meter och en normerad volym per krancykel på 0,25 m³fub.

Underväxtröjning

Röjningskostnaden vid gallringsuttagen 30-50 m³fub/ha var mellan 26-43 kr/m³fub (Tabell 14).

Tabell 14. Kostnader för underväxtröjning vid olika volymsuttag

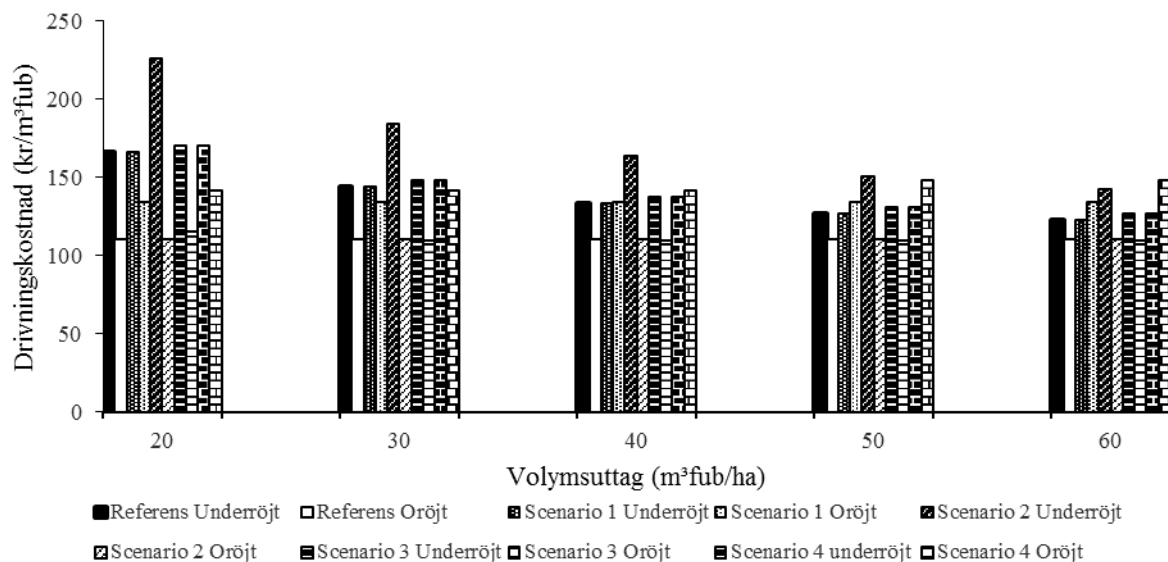
Table 14. Pre-clearance costs at different volume harvests

Volymsuttag (m ³ fub/ha)	Röjningskostnad (kr/m ³ fub)
30	43,3
40	32,5
50	26,0

Känslighetsanalys

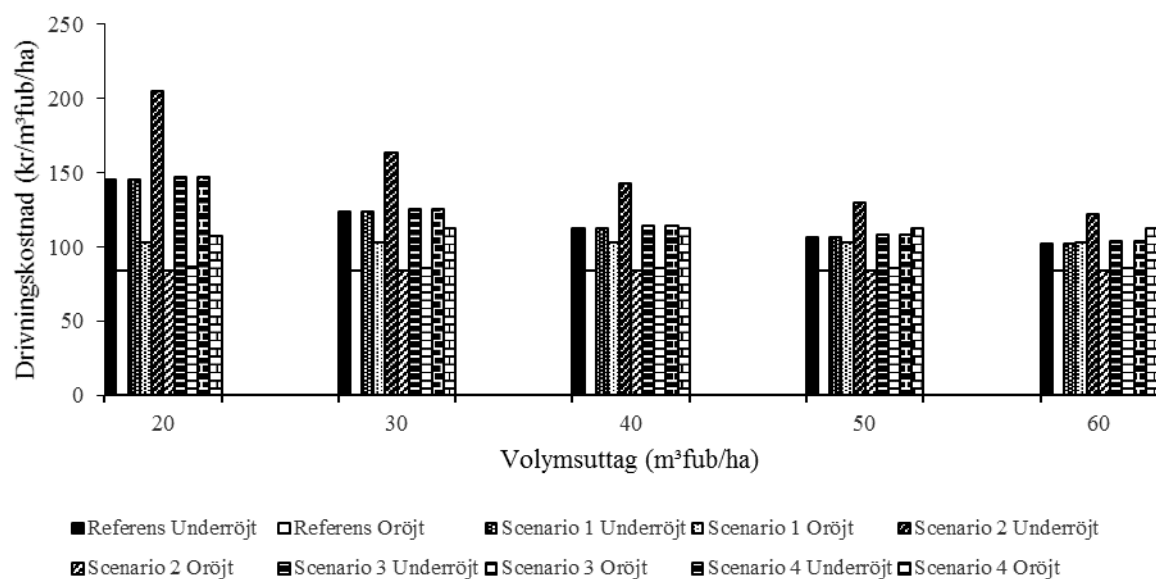
Underväxtröjning är en kostnadssänkande åtgärd i delar av scenario 1 och 4 (Figur 8 & 9). Enligt känslighetsanalysen krävs ett volymsuttag på minst 40 m³fub/ha vid en skördad medelstam på 0,06 m³fub i scenario 1 och 4. Vid en skördad medelstam på 0,10 m³fub krävs ett volymsuttag på minst 50 m³fub/ha för scenario 4 och 60 m³fub/ha för scenario 1 (Figur 8 & 9). Vid högre timkostnad för skördare krävs ett lägre volymsuttag per ha för att underväxtröjning skall bli kostnadsminskande.

I ursprungsläget (Referens) och i scenario 3, där produktivitetssiffrorna baserades på avlövad lövunderväxt, är systemkostnaden i bestånd som underväxtröjts högre än i bestånd som inte underväxtröjts (Figur 8 & 9).



Figur 8. Känslighetsanalys och kostnadsjämförelse mellan drivningssystem för de olika scenarierna (1-3) samt referensvärden vid en skördad medelstamsvolym på 0,06 m³fub.

Figure 8. Sensitivity analysis and cost comparison between the logging systems for the different scenarios (1-3) and reference values at a harvested mean stem volume of 0.06 m³fub.



Figur 9. Känslighetsanalys och kostnadsjämförelse mellan drivningssystemen för de olika scenarierna (1-3) samt referensvärden vid en skördad medelstamsvolym på 0,10 m³fub.

Figure 9. Sensitivity analysis and cost comparison between logging systems for the different scenarios (1-3) and reference values at a harvested mean stem volume of 0.10 m³fub.

Diskussion

Tolkning av resultat

Gallrade volymer och kvalitet

Resultaten visar på att det inte fanns några signifikanta skillnader i beståndsskador, stickvägsbredd och stickvägsavstånd mellan behandlingarna. Det finns dock vissa indikationer på att antalet stamskador var högre i bestånd med kvarlämnad underväxt. Detta ligger i linje med Tahvanainen (2001) som visade på att det fanns skillnader i skadefrekvens beroende på behandlingstyp under barmarksperioden. Att skillnaderna var så pass små kan bero på att lövunderväxten hade hunnit tappa löven innan gallringen utfördes, vilket gjorde att siktproblemen minskade och kranarbetet underlättades. Detta nämndes av både skördar- och skotarföraren under tidsstudien. En annan möjlig orsak till det låga antalet skador kan vara att maskinförarna medvetet blev försiktigare när någon satt i hytten och studerade deras arbete, vilket nämndes av den studerade skotarföraren efter avslutad tidsstudie.

Vid underväxtröjningen lämnade röjaren en högre andel av underväxtstammarna i diameterklassen 4-8 cm, än i de lägre diameterklasserna (Figur 6). Anledningen till detta kan ha varit att röjningen av stammar i dessa diameterklasser gick tyngre och att röjaren i högre grad valde att lämna dessa, i och med att denne arbetade efter ett ackordspris. En annan teori kan vara att underväxtstammar i högre diameterklasser står mer fritt från gallringsstammarna, det vill säga att dessa inte är avverkningshämmande enligt Norra Skogsägarnas instruktion (Bilaga 8).

Effektivitet och produktivitet

Resultatet av tidsstudien visade att avlövad underväxt hade en signifikant påverkan på skördarens prestation i gallring. Det arbetsmoment som påverkades signifikant under studien var risrensning av underväxt, vilket ökade i de oröjda parcellerna. De andra studerade arbetsmomentens tidsåtgång ökade också i de oröjda bestånden, men det var inga signifikanta skillnader (Tabell 10). Den höga standardavvikelsen för de oröjda parcellerna bidrog till att uppbearbetningsmomentet och den totala tidsåtgången inte blev signifikant påverkade av behandlingsmetoden, vilket skiljer sig mot Kärhä (2006) där större delen av kranarbetet vid avverkning påverkades av underväxten. Detta berodde troligen på att underväxtens effekt på avverkningsarbetet vid gallringen av parcellerna i block 2 var väldigt låg trots att underväxtens stamantal/ha generellt sett var högre än i block 1 (Tabell 2). Andelen gran i underväxten var dock lägre i block 2 än i block 1. En annan faktor som kan ha påverkat skördarens produktivitet i block 2 var att det i en underröjd parcell förekom ett vattenförande dike. För att förhindra markskador lade skördaren stockar i diket, vilket medförde att avverkningsarbetet för den parcellen tog lite längre tid. Den avlövade underväxtens signifikanta påverkan på produktiviteten ligger inte i linje med tidigare studier av Tahvanainen (2001) som visade på att lövunderväxt inte hade någon signifikant påverkan på skördarens produktivitet, varken under sommar eller vinter.

Varför den avlövade underväxten inte fick samma påverkan på skördarens produktivitet som granunderväxten i Kärhä (2006) berodde troligtvis på ett flertal faktorer. En faktor kan ha varit att granunderväxten hade en större effekt på skotarförarens sikt vilket medförde att

denne blev tvungen att lägga ner mer tid på att röja bort besvärande underväxt jämfört med avlövad underväxt som inte har samma påverkan på sikten. Granunderväxten har mer hindrande egenskaper som försvårar uppbearbetningen av träden på ett mer märkbart sätt än lövunderväxten vilket kan bero på att underväxt gran har ett mer buskigt utseende än den långsmala lövunderväxten och tenderar att fastna i aggregatet (Kärhä 2006).

Det kan även antas att siktskillnaderna mellan avlövad och granunderväxt kan påverka möjligheterna att göra optimala stamval vid gallring, där ett delsyfte kan vara att öka kvaliteten i det kvarvarande beståndet.

Resultatet visade på att valet av behandlingsmetod inte hade någon signifikant påverkan på skotarens prestation i avverkningsarbetet. Det fanns dock indikationer på att underväxten hade en viss påverkan på skotarens arbete (p-värde 0,066). Varför underväxten inte hade en signifikant effekt på skotarens arbete kan bero på att underväxtens påverkan främst handlar om sikten och att den fastnar i virkesgripen vid greppandet av virket. Avlövad underväxt försämrar troligtvis inte sikten eller gripens arbete lika kraftigt som granunderväxt, vilket medför att den inte får en sådan kraftig påverkan att den blir signifikant. I tidigare studier av skotarens produktivitet i gallring i bestånd med granunderväxt har underväxtens påverkan legat kring 1-7 % beroende på täthet (Kärhä 2006).

Ett konsekvent användande av underväxtröjning bör medföra att den avverkade årsvolymen stiger för maskinlagen till följd av den ökade produktiviteten och att det i sin tur kan resultera i att man inte behöver kontraktera upp samma mängd av maskinresurser för att nå den årliga avverkningsvolymen. Det kan eventuellt också förbättra maskinförarnas arbetsmiljö i och med att dessa inte behöver lägga ner tid på icke produktivt arbete som till exempel röjning av underväxt med aggregatet och istället får möjligheten att fokusera på andra arbetsmoment.

Kostnader och känslighetsanalys

I känslighetsanalysen analyserades drivningskostnaden för de två behandlingsmetoderna vid ett antal scenarion (Tabell 15). Det som framgår av analysen är att underväxtröjning inte är en kostnadsminskande metod i bestånd med avlövad lövunderväxt vid medelstamsvolymerna 0,06 och 0,10 m³fub. Underväxtröjning kan dock fungera som en kostnadsminskande metod i bestånd med kraftig granunderväxt och ett volymsuttag på 40 m³fub/ha och över vid en skördad medelstamsvolym på 0,06 m³fub och vid ett volymsuttag på 50-60 m³fub/ha och över vid en skördad medelstamsvolym på 0,1 m³fub (Scenario 1 & 4, Tabell 15). Det kan även noteras att vid en ökad röjningskostnad från dagens 1300 kr/ha till 2200 kr/ha så är underväxtröjning inte lönsamt vid volymsuttag mellan 20-60 m³fub/ha (Scenario 2, Tabell 15).

I området där studien utfördes använde sig uppdragsgivaren av ett system där ersättningen för skördaren reducerades i underväxtröjda bestånd och ökades i oröjda bestånd. I fall som dessa kunde det därför vara motiverat att underväxtröja även om prestationsökningen inte var tillräcklig för att den totala kostnaden för behandlingen skulle understiga kostnaden för den oröjda behandlingen i normala fall.

Med andra ord så skulle det vara svårt att motivera användandet av underväxtröjning i beståndstyper med lövunderväxt som gallras under senhöst och tidig vår om inte ovan nämnda rabatter och påslag användes.

Framtida studier

Det initiala syftet med den här studien var att undersöka hur lövad underväxt påverkade avverkningsarbetet i gallring för skördare och skotare, men då examensarbetet utfördes under hösten hann lövträden fälla sina löv innan tidsstudien utfördes. Därför hade det varit intressant att ta reda på hur stora skillnaderna i produktivitet hade varit hos skördaren och om det funnits någon påverkan på skotaren i gallring med lövad underväxt. Enligt Gunnarsson m.fl. (1992) så hade lövad underväxt liknande egenskaper som granunderväxt och man kan då förvänta sig att den har en större effekt på produktiviteten i drivningsarbetet vid gallring än avlövad underväxt. Gunnarsson m.fl. (1992) studie är dock som så många andra studier om underväxt relativt gammal och man kan anta att maskinernas utveckling med förbättrade aggregat som exempel har medfört att det finns vissa skillnader i hur stor effekt underväxten har nu kontra då.

En annan faktor som kan tänkas öka underväxtens påverkan på drivningsarbetet är mörkret, då det bör kunna leda till att underväxten orsakar en utökad beskuggning inom beståndet och därigenom försvårar drivningsarbetet nattetid både för skördaren och skotaren.

Utökade studier i underväxtens påverkan på drivningsarbetet bör därför kunna ge ett bättre beslutsunderlag för huruvida underväxtröjning är en behandlingsmetod som kan minska kostnaderna i gallring.

Man kan även diskutera ifall underväxtröjning är en åtgärd som även berör framtida gallringar och att det kan fungera som en kostnadsminskande åtgärd på sikt beroende på eventuell inväxning av underväxt. Detta skulle i så fall komplicera den ekonomiska beräkningen och medföra att man blir tvingad att diskontera kostnaderna och fördela kostnaden för underväxtröjning på en längre period. Det skulle i så fall kunna motivera underväxtröjning i bestånd trots att det skulle leda till en kostnadsökning vid det första gallringstillfället.

Gunnarsson m.fl. (1992) nämnde att omfattande underväxtröjning kan ha negativa effekter på jaktbara vilt som skogshöns och dess kycklingar, i och med att underväxtens buskskikt fungerar som skydd mot rovdjur och håller med föda. Det kan därför finnas andra värden som jakt och biodiversitet som markägaren kan behöva ta ställning till och väga emot minskade drivningskostnader i slutändan.

Styrkor och svagheter med studien

Parcellernas karaktäristik i den här studien skattades med bältesinventering där tre stycken två meter breda bälten lades ut systematiskt med slumpmässig start. Provyteinventering ger enbart en skattning av skogstillståndet och inte det exakta värdet. Detta blev speciellt tydligt när man jämförde skördarens uttag för varje parcell med de skattade volymsuppgifterna för varje parcell. I exempelvis parcell 2 i block 2 skiljde sig volymsuppgifterna före och efter gallring med enbart 6 m³fub/ha trots att skördarens uttag var 33 m³fub/ha enligt skördardatorm (Tabell 2 & 7).

I valet av provträd användes ett systematiskt system där var tredje eller fjärde huvudstam blev ett provträd. Detta gav dock effekten att det blev för få provträd av gran och björk för att kunna få fram tillförlitliga volymfunktioner genom regressionsanalys. Hade jag gjort om

studien hade jag nog använt mig av en annan systematisk metod, exempelvis genom att det första trädet ur varje diameterklass fick bli ett provträd. Detta hade motverkat eventuella skattningsskillnader som jag nu fick genom att använda mig av volymsfunktioner för tall för både gran och björk.

Då studien utfördes som ett examensarbete med rätt begränsad tid till fältarbete mättes bara volymen på ett antal provträd och utifrån dessa skapades sekundära volymsfunktioner som användes till att skatta de resterande trädens volym. Förklaringsgraden var förvisso väldigt hög och låg mellan 98,4-99,1 %. Det medförde dock att det fanns viss felmarginal i de stående trädens volym jämfört med den verkliga volymen.

Fördelen med att tidsstudien för skördaren utfördes som en frekvensstudie var att det gav möjlighet att skriva upp det utförda momentet någon sekund i efterhand. Vilket man var beroende av att kunna göra ibland när skördaren krängde och man behövde hålla balansen för att inte störa skördarförarens arbete. Skördarens krängningar hade troligtvis varit svåra att parera ifall tidsstudien utförts som en kontinuerlig studie och troligtvis hade det gett en felmarginal i övergångarna mellan arbetsmomenten. Alternativet för att kunna förebygga dessa störningar hade varit att filma skördarens arbete på avstånd eller inifrån hytten. Då hade man troligen stött på andra problem som till exempel hämmad sikt på grund av ett stort antal underväxtstammar i 2-3 meters höjd eller att skördarens krängningar hade medfört svårigheter att filma arbetsmomenten med bra skärpa.

I indelningen av arbetsmoment och prioriteringen av dessa gick jag (omedvetet) emot praxis då jag prioriterade maskinförflyttning högre än vissa delar i kranarbetet. Då kranarbetet var det som hade påverkats kraftigast i tidigare studier borde detta ha prioriterats högre i denna studie i och med att det var detta moment som var mest intressant att undersöka. Bergstrand (1987) beskriver arbetsmomenten som sådana att de påverkas oftast av ett fåtal faktorer och för maskinens förflyttning handlar det till större delen om terränghinder. Nu fick det kanske inte den påverkan det kunde ha fått på studieresultatet då terrängförhållandena var bedömda som goda, men hade terrängen haft en hög frekvens av hinder som stenar och block kunde det ha medfört att resultatet påverkades och att det hade blivit svårt att jämföra underväxtens påverkan på arbetsmomenten.

Modelleringen av skotarens produktivitet baserades på en studie från 1994 där lastningsmomentet upptog 49,7 % av arbetsfördelningen vid 300 meters terrängtransportavstånd enkel väg och om enbart massaved skotades. Detta skiljer sig troligtvis mot den verkliga produktiviteten då terrängtransportavståndet var kortare inom försöksområdet och det fanns en liten mängd timmer i gallringarna.

Vid förberedelserna inför tidsstudien markerades stickvägarna för varje parcell och i block 1 markerades även stickvägarna mellan parcellerna för att underlätta för maskinföraren. Det kan ha medfört att man styrde skördaren mot ett visst stickvägsavstånd och att det fick en större betydelse för resultatet än vad behandlingsmetoderna hade.

Studien utfördes i bestånd med ståndortsindex kring T20, vilket är vanligt förekommande inom Västerbottens län (34 % av all produktiv skogsmarksareal i Västerbotten och 24 % i Norra Norrland) (Skogsstyrelsen 2014). Därför bör resultaten från denna studie kunna vara representativ för en stor del av den produktiva skogsmarksarealen inom Norra Skogsägarnas

verksamhetsområde, då Norra Skogsägarnas verksamhet är knuten till stora delar av norra Norrland (Norra Skogsägarna 2015).

Slutsats

Denna studie visar på att:

- Underväxtröjning av avlövad underväxt inte är en åtgärd som sänker drivningskostnaderna i bestånd som ska gallras under perioder där underväxten är avlövad under studiens grundförutsättningar.
- I de studerade bestånden hade valet av behandlingsmetod en signifikant påverkan på skördarens arbete med att rensa hindrande underväxt kring gallringsstammarna och det gav även en indikation på att tidsåtgången ökade i resterande arbetsmoment.
- Underväxten hade inte någon signifikant påverkan på skotarens produktivitet, utan denna påverkades främst av koncentrationen av virkeshögar. Det fanns dock indikationer på att tidsåtgången ökade där underväxten lämnats kvar.
- Skadefrekvensen i gallring inte är signifikant högre i bestånd med underväxt.
- Det finns inga signifikanta skillnader i stickvägsbredd eller stickvägsavstånd i bestånd med underväxt.
- Antalet underväxtstammar/ha har en signifikant påverkan på röjarens prestation vid underväxtröjning.

Med andra ord så visade denna studie på att underväxtröjning av avlövad underväxt ökade skördarens prestation i gallring, men minskningen i drivningskostnad var inte tillräcklig för att den totala kostnaden för behandlingen ska understiga kostnaden för den oröjda behandlingen. Detta ger en fingervisning om att man främst bör rikta underväxtröjning mot bestånd med höga stamantal av granunderväxt och bestånd med låga medelstamsvolymer.

Referenser

- Agestam, E. (2009). Skogsskötselserien nr 7, Gallring. Skogsstyrelsens förlag.
- Andersson, L. (1984). Inverkan av stamskador på tillväxten hos tall. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift nr 5/84.
- Berg, S. (1982). Terrängtypschema för skogsarbeten. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Kista, 28 pp. ISBN: 91-7614-035-0.
- Bergkvist, I. (2010). Tvåskift är billigast, men låga räntor minskar gapet mot enkelskift. Skogforsk, Uppsala. Resultat nr 5.
- Bergstrand, K-G. (1987). Planering och analys av skogstekniska tidsstudier. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Meddelande nr 17.
- Blomqvist, H. (1984). Hur tallens virkeskvalitet och värde påverkas av stamskador vid gallring. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära. Examensarbete nr 1.
- Brandel, G. (1990). Volymfunktioner för enskilda träd. Tall, gran och björk. Sveriges Lantbruksuniversitet, institutionen för skogsproduktion, rapport nr 26.
- Brunberg, T., Thelin, A. & Westerling, S. (1989). Underlag för prestationsnormer för engreppsskördare i gallring. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Redogörelse nr 3.
- Brunberg, T. (1997). Underlag för produktionsnorm för engreppsskördare i gallring. Skogforsk, Redogörelse nr 8.
- Fröding, A. (1992). Beståndsskador vid gallring. Diss. Garpenberg: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Gunnarsson, P., Hellström, C. & Scherman, S. (1992). Gallring i bestånd med underväxt. (Handledning från Skogforsk). Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsinstitut. ISBN: 91-7614-080-6
- Håkansson M. (2000). Skogsencyklopedin – 8400 artiklar och ordförklaringar. Sveriges Skogsvårdsförbund.
- Isomäki, A. & Kallio, T. (1974). Consequences of Injury Caused by Timber Harvesting Machines on the Growth and Decay of Spruce (*Picea abies* (L) Karst.) Acta Forestalia Fennica vol 136.
- Kellogg, L.D. & Bettinger, P. (1994). Thinning Productivity and Cost for a Mechanized Cut-to-Length System in the Northwest Pacific Coast Region of the USA. Journal of Forest Engineering, 5 (2): 43-54.
- Kozlova, L.M. & Bliev, J.K. (1974). The reaction of pine and spruce seedlings to the increase of soil compaction. Lesovedenie 4.
- Kärhä, K. (2006). Profitability of pre-clearance in first-thinning Scots pine stands. I: Lönnstedt, L. & Rosenquist, B. (eds.), Scandinavian Forest Economics, No. 41. 2006: 137-146.

- Larsson, K. (2003). Körskador i gallring - en studie av 21 drabbade objekt i södra Sverige. Alnarp: Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap. Examensarbete 2003:40.
- Magagnotti, N. & Spinelli, R. (eds.). (2012). Good practice guidelines for biomass production studies. CNR-IVALSA. 50 s. ISBN: 978-88-901660-4-4
- Norra Skogsägarna (2007). Gallringsriktlinjer & gallringsmallar. Umeå: Norra Skogsägarna [Broschyr]
- Norra Skogsägarna (2012). Instruktion för Hyggesrensning och underröjning. Umeå: Norra Skogsägarna [Broschyr]
- Norra Skogsägarna. (2015). Virkesområden.
<http://www.norra.se/kontakt/virkesomraden/Pages/default.aspx> [2015-02-26]
- Olovsson, J. (2014). Effekten av aggregattyp och skördad medelstamvolym på skördarens produktivitet och ekonomi i slutavverkning. Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogens biomaterial och teknologi. Arbetsrapport 2014:15.
- Russel, R.S. & Goss, M.J. (1974). Physical aspects of soil fertility- The response of roots to mechanical impedance. Netherlands Journal of Agricultural Science, 22: 305-318.
- Skogsstyrelsen. (2014). Skogsstatistisk årsbok 2014. Jönköping: Skogsstyrelsens förlag.
- Sondell, J. (1974). Mätning av stickvägsareal. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten 1974.
- Tahvanainen, M. (2001). On the effects of advance clearing of undergrowth when applying mechanised thinning. TTS Institute, Forestry Bulletin 638. 4 pp.
- Wästerlund, I. (1986). Skador på mark och rötter. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik, Uppsatser och resultat nr 52, 56-63.

Personlig kommunikation

- Brunberg, Torbjörn. Forskare, Skogforsk. 2015-02-25
- Kemppainen, Erik. Produktions- och logistikansvarig, Norra Skogsägarna. 2015-01-14
- Lukkarinen, Eero. Vd, Ponsse. 2015-01-19
- Sundberg, Allan. Säljare, Eco Log. 2015-01-16
- Strömberg, Kristian. Virkesområdeschef, Norra Skogsägarna. 2014-11-20

Bilaga 1. Variansanalys av skördare på blocknivå

General Linear Model: Produktivitet m³fub/h versus Behandling; Block

Factor	Type	Levels	Values
Behandling	fixed	2	Oröjt; Röjt
Block	random	2	Block 1; Block 2

Analysis of Variance for Produktivitet m³fub/h, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Medelstam m ³ fub	1	220,706	138,606	138,606	75,14	0,000
Behandling	1	15,327	15,905	15,905	8,62	0,019
Block	1	1,109	1,109	1,109	0,60	0,460
Error	8	14,758	14,758	1,845		
Total	11	251,899				

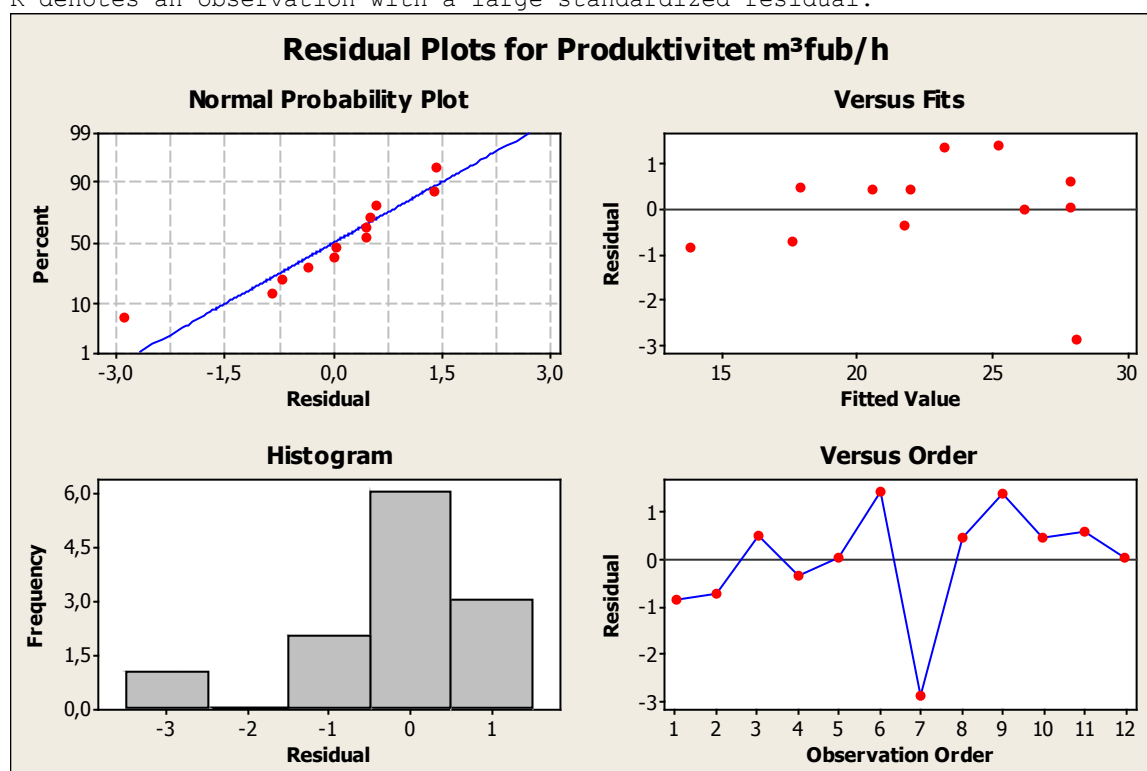
S = 1,35820 R-Sq = 94,14% R-Sq(adj) = 91,94%

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	3,724	2,222	1,68	0,132
Medelstam m ³	228,57	26,37	8,67	0,000
Behandling				
Oröjt	-1,1675	0,3976	-2,94	0,019
Block				
Block 1	-0,3495	0,4507	-0,78	0,460

Unusual Observations for Produktivitet m³fub/h

Obs	Produktivitet m ³ fub/h	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
7	25,1934	28,0978	0,6980	-2,9044	-2,49 R

R denotes an observation with a large standardized residual.



Bilaga 2. Variansanalys av skördare för parcellpar

General Linear Model: Produktivitet m³ versus Behandling; Parcellpar

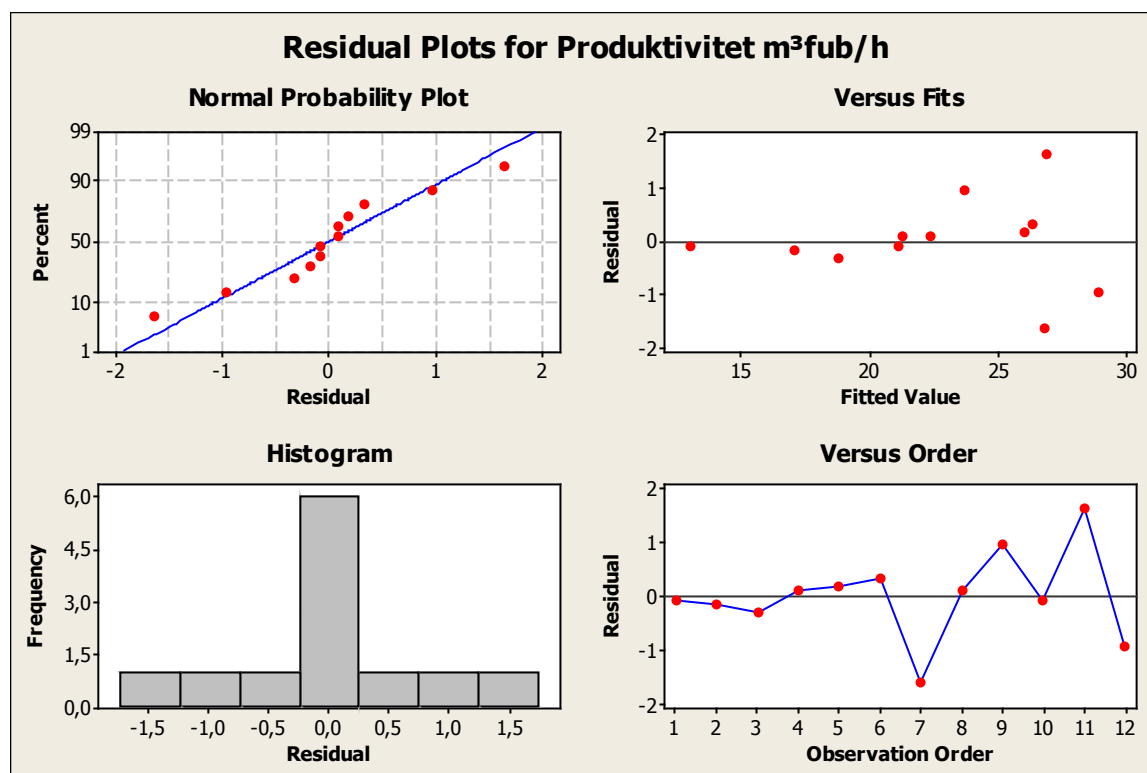
Factor	Type	Levels	Values
Behandling	fixed	2	Oröjt; Röjt
Parcellpar	random	6	1; 2; 3; 4; 5; 6

Analysis of Variance for Produktivitet m³fub/h, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Medelstam m ³ fub	1	220,706	81,637	81,637	43,48	0,003
Behandling	1	15,327	14,445	14,445	7,69	0,050
Parcellpar	5	8,356	8,356	1,671	0,89	0,561
Error	4	7,511	7,511	1,878		
Total	11	251,899				

S = 1,37029 R-Sq = 97,02% R-Sq(adj) = 91,80%

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	2,386	3,104	0,77	0,485
Medelstam m ³	244,70	37,11	6,59	0,003
Behandling				
Oröjt	-1,1271	0,4063	-2,77	0,050
Parcellpar				
1	-0,632	1,156	-0,55	0,614
2	-0,6769	0,8873	-0,76	0,488
3	0,6684	0,8933	0,75	0,496
4	-1,153	1,197	-0,96	0,390
5	0,9185	0,9284	0,99	0,379



Bilaga 3. Variansanalys av skotare på blocknivå

General Linear Model: Produktivitet lastning versus Behandling; Block

Factor	Type	Levels	Values
Behandling	fixed	2	Oröjt; Röjt
Block	random	2	Block 1; Block 2

Analysis of Variance for Produktivitet lastning, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Volym/krancykel_1	1	82,058	156,289	156,289	16,29	0,004
Behandling	1	39,864	43,634	43,634	4,55	0,066
Block	1	87,542	87,542	87,542	9,13	0,017
Error	8	76,735	76,735	9,592		
Total	11	286,199				

S = 3,09707 R-Sq = 73,19% R-Sq(adj) = 63,13%

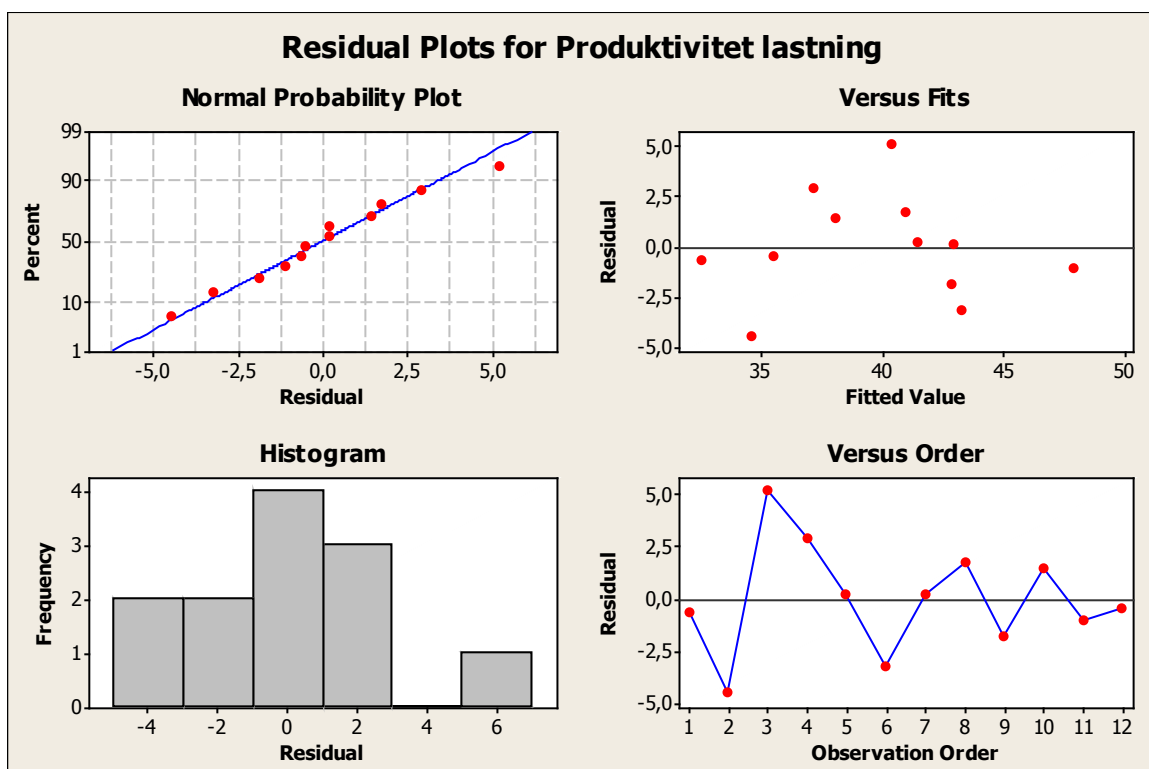
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	19,278	5,167	3,73	0,006
Volym/krancy	86,67	21,47	4,04	0,004

Unusual Observations for Produktivitet lastning

Obs	Produktivitet lastning	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
3	45,6000	40,3986	1,7796	5,2014	2,05 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Residual Plots for Produktivitet lastning



Bilaga 4. Variansanalys av skotare för parcellpar

General Linear Model: Produktivitet la versus Behandling; Parcellpar

Factor	Type	Levels	Values
Behandling	fixed	2	Oröjt; Röjt
Parcellpar	random	6	1; 2; 3; 4; 5; 6

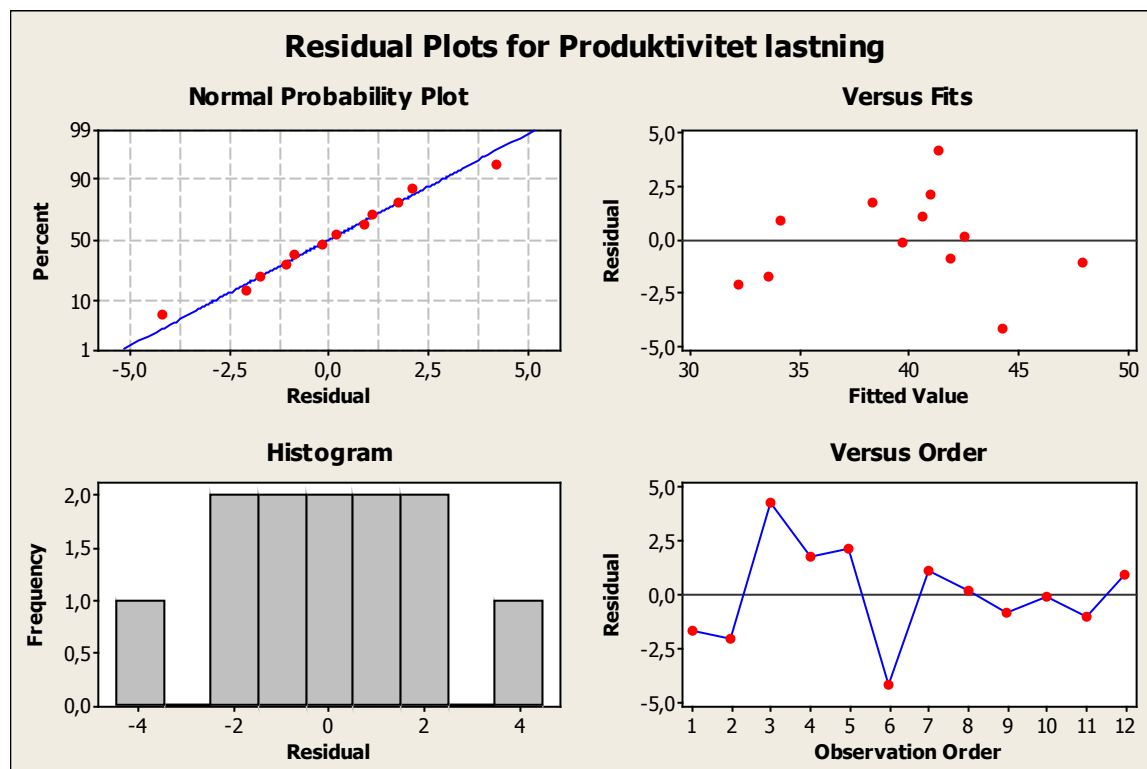
Analysis of Variance for Produktivitet lastning, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Volym/krancykel_1	1	82,06	82,75	82,75	6,14	0,068
Behandling	1	39,86	44,51	44,51	3,30	0,143
Parcellpar	5	110,35	110,35	22,07	1,64	0,327
Error	4	53,93	53,93	13,48		
Total	11	286,20				

S = 3,67177 R-Sq = 81,16% R-Sq(adj) = 48,18%

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	17,324	9,142	1,90	0,131
Volym/krancy	94,92	38,31	2,48	0,068

Residual Plots for Produktivitet lastning



Bilaga 5. Regressionsanalys av produktivitet i underväxtröjning

Regression Analysis: Prod (ha/h) versus Røjstammar/ha

The regression equation is

Prod (ha/h) = 0,237 - 0,000007 Røjstammar/ha

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,23734	0,03288	7,22	0,002
Røjstammar/ha	-0,00000748	0,00000242	-3,10	0,036

S = 0,0195154 R-Sq = 70,6% R-Sq(adj) = 63,2%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,0036530	0,0036530	9,59	0,036
Residual Error	4	0,0015234	0,0003809		
Total	5	0,0051764			

Bilaga 6. Sammanställning av upphandlingsuppgifter för skördare

Variabler	
Volymer	
Medelstam årsbasis (m ³ fub)	0,25
Antal träd/timma (n)	125
Antal sortiment (n)	5
Korrigerat antal träd (n)	125
Verkliga arbetsdagar (n)	215
Arbetsplatstid/dygn (h)	15,2
Effektiv körtid/dygn (%)	80
Med hänsyn till maskinflytt (%)	77
Flyttens påverkan på Effektiv körtid (%)	3
Maskinflytt	
Antal timmar/flytt (h)	1
Kostnad/timma (kr)	950
Medeltrakt (m ³ fub)	800
Beräknat antal flyttar/år (n)	99
Årskostnad flytt (kr)	94050

Bilaga 7. Sammanställning av upphandlingsuppgifter för skotare

Variabler	
Volymer	
Medelskotningsavstånd årsbasis (m)	300
Antal lass/driftstimma (n)	1,75
Antal m ³ fub/lass	9
m ³ fub/timma	15,8
m ³ fub/dygn	211,2
Verkliga arbetsdagar (n)	220
Arbetsplatstid/dygn (h)	15,2
Effektiv körtid/dygn (%)	90
Med hänsyn till maskinflytt (%)	88,2
Flyttens påverkan på Effektiv körtid (%)	1,8
Maskinflytt	
Antal timmar/flytt (h)	1
Kostnad/timma (kr)	800
Medeltrakt (m ³ fub)	800
Beräknat antal flyttar/år (n)	59
Årskostnad flytt (kr)	47200

Bilaga 8. Norra Skogsägarnas instruktion för underväxtröjning.

Underröjning

Följande gäller för utförande av underröjning inför gallring

1. Avverkningshämmande stammar under 8 cm i brösthöjd underröjs.
2. Stubbhöjden hålls så låg som möjligt, dock max 15 cm. Framför allt är det viktigt med låg stubbhöjd intill gagnvirkesträd.
3. Fokusera på vad som är hämmande för maskinavverkning.
4. Stammar i luckor som inte är avverkningshämmande lämnas.
5. Ytor med yngre skog och många stammar friställs enligt traditionell ungskogsröjning.
6. Naturvårdshänsyn tas enligt PEFC-standard. Exempel: Röj ej kantzoner mot bäckar, på impediment och liknande. Röj fram och risrensa kulturminnen. Nyupptäckta kulturminnen markeras på traktskiss och återrapporteras till uppdragsgivaren.
7. Undvik onödig ”städning” (underväxt under knähöjd). Intill gagnvirkesträd underröjs dock allt med så låg stubbhöjd som möjligt.
8. Rönn och sälg lämnas.
9. Såga inte bort snitselband!

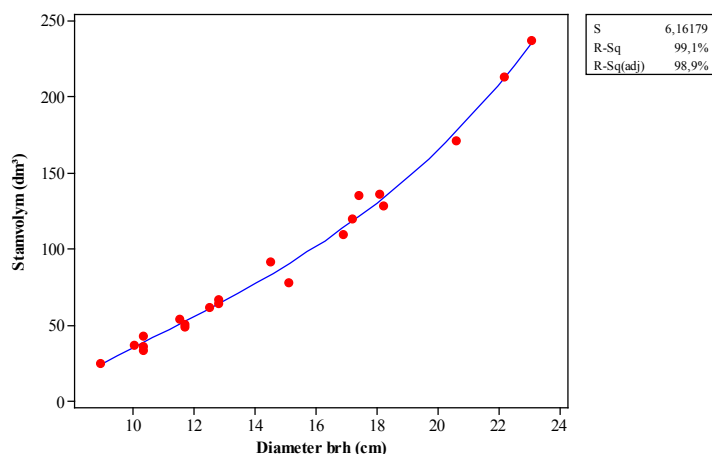
Efter utförd hyggesrensning eller underröjning ska ifylld kvalitetssäkringsrapport bifogas faktura.

Bilaga 9. Volymfunktioner baserade på provträd

Volymfunktion för block 1

$$\text{Stamvolym (dm}^3\text{)} = -107,5 + 21,80 (\text{Diam brh(cm)}) - 1,093 (\text{Diam brh(cm)})^2 + 0,03425 (\text{Diam brh(cm)})^3$$

p-värde = < 0,000



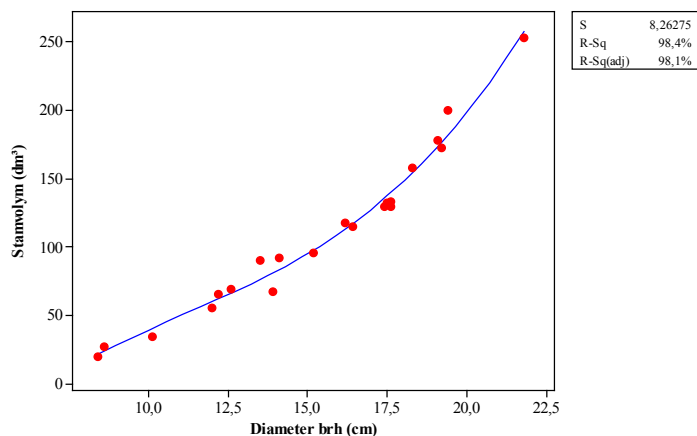
Figur 10. Volymfunktion för tall för block 1 baserad på Brandels mindre volymsfunktion och 21 provträd.

Figure 10. Volume function for Scots Pine for block 1 based on Brandels smaller volume function and 21 test trees.

Volymfunktion för block 2

$$\text{Stamvolym (dm}^3\text{)} = -171,5 + 39,62 (\text{Diam brh(cm)}) - 2,649 (\text{Diam brh(cm)})^2 + 0,07956 (\text{Diam brh(cm)})^3$$

p-värde = < 0,000



Figur 11. Volymfunktion för tall för block 2 baserad på Brandels mindre volymsfunktion och 23 provträd.

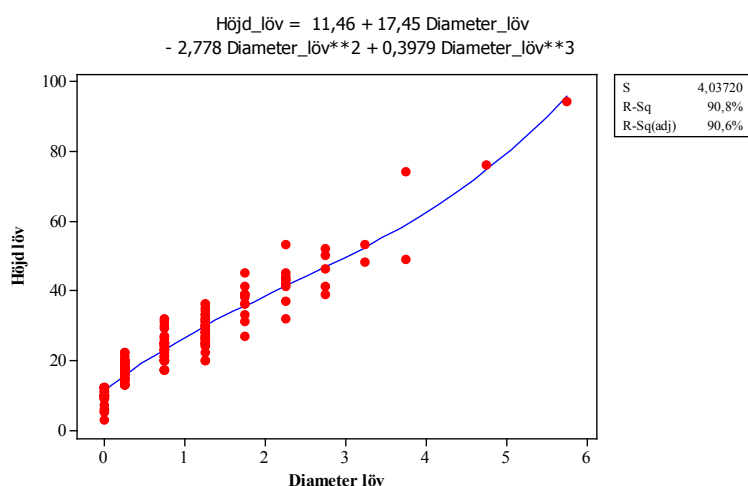
Figure 11. Volume function for Scots Pine for the block 2 based on Brandels smaller volume function and 23 test trees.

Bilaga 10. Höjdfunktioner för underväxt baserade på provträd

Höjdfunktion för lövunderväxt

$$\text{Höjd löv (dm)} = 11,46 + 17,45(\text{Diam brh(cm)}) - 2,778(\text{Diam brh(cm)})^2 + 0,3979(\text{Diam brh(cm)})^3$$

p-värde = < 0,000



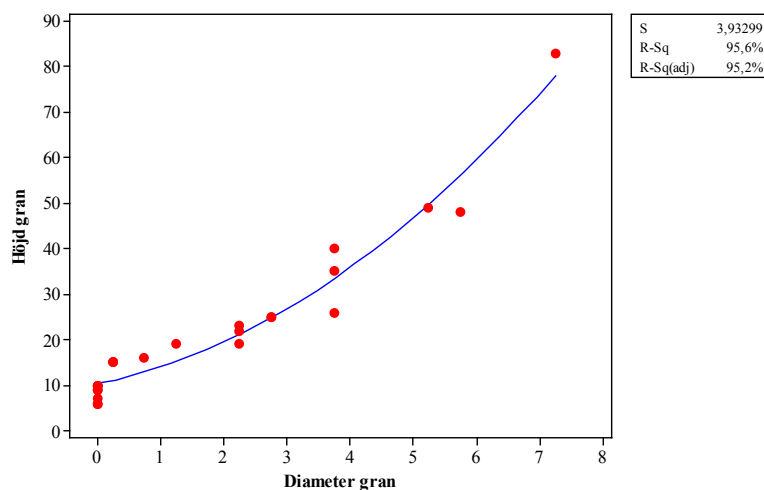
Figur 12. Höjdfunktion för lövunderväxt baserad på 173 provträd.

Figure 12. Height function for broadleaf undergrowth based on 173 test trees.

Höjdfunktion för granunderväxt

$$\text{Höjd gran (dm)} = 10,36 + 2,799(\text{Diam brh(cm)}) + 0,8978(\text{Diam brh(cm)})^2$$

p-värde = < 0,000



Figur 13. Höjdfunktion för granunderväxt baserad på 24 provträd.

Figure 13. Height function for spruce undergrowth based on 24 test trees.